



PROSEDUR STANDAR DAN TEKNIK

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI

EDITOR  
NUR R. ISKANDAR

ISBN 978 - 602 - 1124 - 88 - 8



PROSEDUR STANDAR DAN TEKNIK

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI

EDITOR :

NUR R. ISKANDAR

BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI  
BALAI BESAR TEKNOLOGI ENERGI

## BALAI BESAR TEKNOLOGI ENERGI

### TEKNOLOGI ENERGI FOSIL

BATUBARA  
EMISI GAS BUANG  
STUDI KELAYAKAN PLTU

### TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN

SURYA-FOTOVOLTAIK  
SURYA-TERMAL  
BIOMASSA

### TEKNOLOGI EFISIENSI ENERGI

AUDIT DAN KONSULTASI KONSERVASI ENERGI  
ANALISIS DAN OPTIMASI ENERGI  
REKAYASA-INSTRUMENTASI

BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI  
BALAI BESAR TEKNOLOGI ENERGI

Kantor Pusat : Jl. Mohammad Husni Thamrin, No. 8, JAKARTA 10340  
Laboratorium : Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi  
(PUSPIPTEK), Gedung 620 – 624, Setu (d.h Serpong),  
KOTA TANGERANG SELATAN 15314, PROVINSI BANTEN  
Telepon: 021-756-0550, Faksimili: 021-756-0904  
Www.bppt.go.id    www.b2te.bppt.go.id

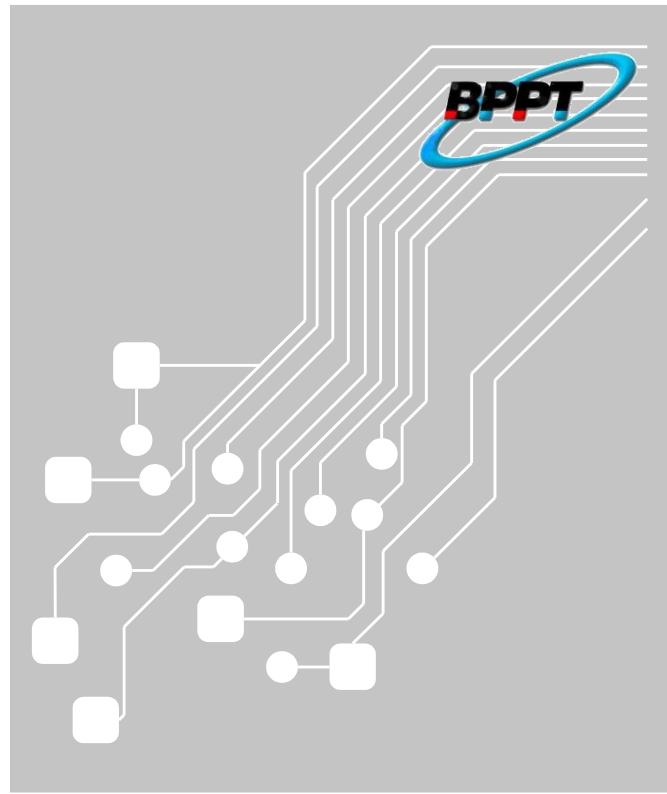
ISBN 978-602-1124-88-8



9 786021 124888



ISBN 978 - 602 - 1124 - 88 - 8



PROSEDUR STANDAR DAN TEKNIK

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI

EDITOR:  
NUR RACHMAN ISKANDAR

BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI  
BALAI BESAR TEKNOLOGI ENERGI

# Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri

ISBN 978-602-1124-88-8

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang.  
Dilarang mengutip, menyimpan, dan  
menyebarkan dalam bentuk apapun,  
sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin  
sah dari penerbit.

Diterbitkan oleh:

Balai Besar Teknologi Energi (B2TE),  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)  
Kawasan PUSPIPTEK, Gd. 620 - 624,  
Kota Tangerang Selatan 15314, Provinsi Banten

Telepon : (021)-756-0550  
Faksimili : (021)-756-0904  
September 2015

## Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di  
Industri/Nur Rachman Iskandar [et al] -  
Tangerang Selatan: Balai Besar Teknologi  
Energi, BPPT, 2015.  
1 file

Bibliografi : hlm -  
ISBN 978-602-1124-88-8

1. Teknologi Konservasi Energi. I. Nur Rachman Iskandar

**TIDAK UNTUK DIPERJUALBELIKAN**

Buku ini dapat diunduh melalui situs:

BPPT : [www.bppt.go.id](http://www.bppt.go.id)  
B2TE : [www.b2te.bppt.go.id](http://www.b2te.bppt.go.id)



# Sambutan Kepala B2TE

Dr. Ir. Andhika Prastawa, M.Eng

Saya menghargai dan berterima kasih kepada semua pihak, khususnya segenap tim penyusun, yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan dan menerbitkan buku ini.

Buku “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” merupakan seri pertama dari 2 buku di bidang konservasi energi yang akan diterbitkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) melalui unit kerja Balai Besar Teknologi Energi (B2TE). Buku seri kedua adalah “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Gedung/Bangunan Komersial” yang akan diterbitkan pada tahun 2016 mendatang.

Buku-buku ini disusun dan diterbitkan berdasarkan pengalaman para penulisnya selama bekerja di Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) d.h Unit Pelaksana Teknis-Laboratorium Sumber Daya Energi (UPT-LSDE), BPPT, yang telah menekuni kegiatan audit energi di berbagai industri dan gedung/bangunan komersial sejak tahun 1990. Selain itu, lima puluh persen dari para penulisnya adalah pemegang Sertifikat Auditor Energi di Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi (LSP- HAKE).

Dokumentasi pengalaman dalam wujud buku ini diharapkan dapat menambah referensi di bidang konservasi energi di negara kita, khususnya di bidang audit energi di industri. Secara khusus, buku ini diharapkan dapat dijadikan panduan bagi para auditor energi dalam melaksanakan kegiatan audit energi di industri, baik di internal BPPT maupun masyarakat industri pada umumnya.

Dengan diterbitkannya buku ini saya sekaligus mendorong segenap pegawai untuk menerbitkan buku-buku berikutnya sesuai dengan bidang dan keahlian yang ditekuni selama ini di Balai Besar Teknologi Energi, BPPT.

Tangerang Selatan, Oktober 2015

# **Sambutan Deputi Kepala BPPT Bidang Teknologi Informasi, Energi, dan Material (TIEM)**

Dr. Ir. Hammam Riza, MSc

Sebagai sebuah hasil karya intelektual, buku “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” patut untuk diapresiasi penerbitannya. Buku di bidang energi ini akan mendampingi buku-buku yang telah terbit sebelumnya, misalnya “Teknik Dasar Penghematan Energi di Industri” tahun 1991, “BPPT Outlook Energi Indonesia” yang terbit setiap tahun sejak 2009, “Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi 2012”, dan beberapa naskah akademis atau buku lainnya.

Saya menyambut baik upaya pendokumentasian pengalaman di bidang audit energi dalam wujud buku yang telah dilakukan oleh Balai Besar Teknologi Energi (B2TE). Dengan demikian pekerjaan di bidang audit energi di B2TE akan meninggalkan “jejak” yang akan berguna bagi generasi penerus di B2TE, khususnya, dan masyarakat luas pada umumnya.

Hal ini sejalan dengan salah satu fungsi BPPT yang melekat pada Kedeputian Teknologi Informasi, Energi, dan Material, yaitu melakukan pembinaan dan pelayanan terhadap kegiatan instansi pemerintah dan swasta di bidang pengkajian dan penerapan teknologi dalam rangka inovasi, difusi, dan pengembangan kapasitas, serta membina alih teknologi khususnya pada sektor keenergian.

Oleh karena itu, buku ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam hal diseminasi program nasional di bidang konservasi energi di industri sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 beserta peraturan-peraturan turunannya.

Melalui buku ini, saya berharap semoga Tuhan YME memberkati upaya-upaya intelektual seperti ini dan menjadikannya sebagai bentuk teladan dan perbuatan baik yang selalu mengalir pahala bagi para penulisnya.

Jakarta, Oktober 2015

# SAMBUTAN KEPALA BPPT

Dr. Ir. Unggul Priyanto, M.Sc.

Penerbitan buku “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” yang disusun oleh Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) - di bawah koordinasi Deputi Kepala BPPT Bidang Teknologi Informasi, Energi, dan Material - semakin menambah judul buku yang telah dihasilkan/diterbitkan oleh BPPT. Buku ini diharapkan dapat menjadi sumbangsih bagi pelaksanaan program konservasi energi nasional sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 70 Nomor 2009 tentang Konservasi Energi, dan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Sebagaimana diketahui bahwa sasaran kebijakan energi nasional di dalam PP Nomor 79 Tahun 2014, yaitu antara lain tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari 1 (satu) yang diselaraskan dengan target pertumbuhan ekonomi dan tercapainya penurunan intensitas energi final sebesar 1 persen per tahun sampai dengan tahun 2025. Untuk mencapai sasaran tersebut upaya keras dan sungguh-sungguh di bidang konservasi energi masih harus dilakukan oleh bangsa kita, khususnya BPPT. Upaya tersebut dapat diawali dengan audit energi agar diketahui status pemanfaatan energi pada saat itu, termasuk potensi penghematan energinya. Tahapan berikutnya adalah melaksanakan rekomendasi atas analisis dan kesimpulan pada audit energi.

Terkait dengan hal tersebut di atas buku “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” diharapkan dapat menjadi pedoman bagi para auditor energi di industri. Selain itu buku ini diharapkan juga dapat dimanfaatkan oleh pihak industri dalam melakukan audit energi secara mandiri. Dengan demikian semua industri di negara kita dapat dengan serentak melaksanakan “pemotretan” penggunaan energinya tanpa harus menunggu auditor energi eksternal.

Dengan diterbitkannya buku ini saya mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT - Tuhan Yang Maha Kuasa sekaligus menyampaikan penghargaan tinggi serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi.

Jakarta, Oktober 2015

# **SAMBUTAN DIRJEN ENERGI BARU, TERBARUKAN, DAN KONSERVASI ENERGI, KEMENTERIAN ESDM RI**

Ir. Rida Mulyana, M.Sc.

Hingga tahun 2014 Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia telah menyelesaikan 1.274 obyek audit energi di industri dan gedung. Selain itu telah dihasilkan pula 23 orang Tenaga Ahli Nasional Sistem Manajemen Energi ISO 50001, 96 orang Manajer Energi, dan 52 orang Auditor Energi yang semuanya bersertifikasi.

Capaian tersebut di atas merupakan bentuk implementasi tugas dan fungsi Ditjen EBTKE, yang antara lain melaksanakan kebijakan di bidang konservasi energi serta memberikan bimbingan teknis dan evaluasi di bidang konservasi energi.

Terkait dengan hal tersebut di atas, saya menyambut baik serta menghargai penerbitan buku “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Buku ini saya harapkan dapat ikut serta memperkuat struktur bangunan konservasi energi di negara kita, khususnya di sektor industri, dalam rangka mencapai target pertumbuhan ekonomi dan tercapainya penurunan intensitas energi final sebesar 1 persen per tahun sampai dengan tahun 2025 sebagaimana diamanatkan di dalam Peraturan Pemerintah RI (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi.

Saya menyampaikan penghargaan tinggi serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi hingga terbitnya buku ini. Semoga Allah SWT - Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa menyertai setiap usaha kita dalam melaksanakan program konservasi energi nasional.

Jakarta, November 2015



# PENGANTAR

Kegiatan audit energi di Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) yang semula bernama Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi (UPT-LSDE), BPPT telah dilakukan sejak tahun 1990. Satu tahun kemudian diterbitkan sebuah buku berjudul “Teknik Dasar Penghematan Energi” (ISBN 979-8263-00-6) pada masa UPT-LSDE di bawah kepemimpinan Dr. L.M. Panggabean.

Kegiatan audit energi dan pelatihannya terus berlanjut secara konsisten setiap tahun hingga kini. Audit energi telah dilakukan di berbagai industri/pabrik meliputi industri-industri baja, kertas, gula, semen, tekstil, teh, pupuk, sabun, dan beberapa lainnya. Pengalaman yang relatif panjang ini, termasuk terjadi pergantian personil, mendorong para pelakunya untuk mendokumentasikan langkah-langkah yang selama ini dilakukan dalam melakukan audit energi di industri dalam wujud sebuah buku.

Buku berjudul “Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri” ini menguraikan tahap demi tahap pelaksanaan audit energi di industri. Audit energi yang dimaksudkan di sini adalah audit energi rinci. Sedangkan pengertian industri di dalam buku ini adalah industri secara umum, tidak mengacu kepada satu jenis industri tertentu. Selain itu asumsi yang diambil adalah industri yang diaudit energinya memiliki peralatan utilitas, meliputi: kelistrikan, boiler (ketel uap), diesel-generator, *chiller*, dan pompa. Berdasarkan asumsi tersebut pada setiap bab buku ini diuraikan cara melakukan audit energi pada masing-masing peralatan-dimaksud. Selain itu juga disajikan audit energi pada sistem-sistem distribusi uap, integrasi proses, dan manajemen energi. Dengan demikian audit energi dilaksanakan terhadap 8 (delapan) objek kajian oleh 8 subtim pelaksana. Hasil akhir audit energi merupakan integrasi atas 8 objek kajian tersebut di atas yang diwujudkan dalam bentuk laporan yang memuat rekomendasi untuk mewujudkan potensi penghematan energi.

Buku ini diharapkan dapat bermanfaat bagi para auditor energi. Selain itu, secara khusus buku ini diharapkan pula dapat dimanfaatkan oleh setiap industri di tanah air dalam melakukan audit energi secara mandiri.

Dengan mempraktikkan langkah-langkah yang ada di dalam buku ini kami sekaligus berharap mendapatkan kritik dan saran/masukan atas hal-hal yang masih kurang. Untuk selanjutnya kami akan memperbaiki atau melengkapi kekurangan tersebut pada penerbitan edisi berikutnya.

Pada kesempatan yang baik ini izinkan kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut serta memberikan dukungan penerbitan buku ini.

Tangerang Selatan, September 2015

Editor

Nur Rachman Iskandar

# TIM PENYUSUN

## PENGARAH:

Kepala BPPT

Dr. Ir. Unggul Priyanto, M.Sc

Deputi Ka. BPPT Bid. Teknologi Informasi, Energi, dan Material (TIEM)

Dr. Ir. Hammam Riza, M.Sc

## PENANGGUNGJAWAB

Kepala Balai Besar Teknologi Energi (B2TE)

Dr. Ir. Andhika Prastawa, MSEE

## TIM PENYUSUN

Dr. Hariyanto

Ir. Hari Yurismo, MEng.Sc

Ir. Sudirman Palaloi, MT

Ir. Nur Rachman Iskandar

Ir. Pudjo Wahono Hadi

Enny Rosmawar Purba, ST, MT

Ir. Soleh, MT

Yasmin, ST

Hadi Surachman, ST, MT

Pratiwi, ST

Zulramadhanie, ST

Muhammad Akbar Hipi, ST

Sarwo Turinno, A.Md

Louis

Diding Fachrudin

Heru Eka Prawoto

Rendi Januardi

## EDITOR

Nur Rachman Iskandar

## DESAIN SAMPUL

Airlangga Winaditya Iskandar

Referensi Gambar Sampul:

<http://petrofiesta.speiitkgp.org/assets/images/bg3.jpg>

## INFORMASI

Balai Besar Teknologi Energi (B2TE)

Kawasan Puspiptek, Gd. 620 - 624, Setu (d.h Serpong),

Tangerang Selatan 15314, Banten

Telp. 021-756-0550. Fax. 021-756-0904. [www.b2te.bppt.go.id](http://www.b2te.bppt.go.id)

Bidang Pelayanan Teknologi:

Ir. Arie Rahmadi, MEngSc (arie.rahmadi@bppt.go.id, arahmadi2@yahoo.com)

Hadi Surachman, ST, MSi (hadi.surachman@bppt.go.id, hadis1970@gmail.com)

Dian Khairiani, Amd (dian.khairiani@bppt.go.id, dian\_khoe@yahoo.co.id)

Sugeng, ST, MT (sugeng@bppt.go.id, sugeng03@yahoo.com)

Bidang Efisiensi Energi:

Dr. Hariyanto (hariyanto3465@bppt.go.id, hariyt@yahoo.com)

Ir. Hari Yurismo, MEngSc (hari.yurismo@bppt.go.id, yurismo@gmail.com)

Ir. Sudirman Palaloi, MT (sudirman3162@bppt.go.id, palaloi@yahoo.com)

# DAFTAR ISI

	Hal.
SAMBUTAN .....	iii
TIM PENYUSUN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. KONDISI KEENERGIAN NASIONAL .....	5
1.2. PERATURAN KEENERGIAN NASIONAL .....	10
1.3. TUJUAN .....	12
1.4. DEFINISI .....	12
1.5. RUANG LINGKUP .....	15
1.6. SISTEMATIKA PENYAJIAN .....	16
Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini? .....	17
DAFTAR PUSTAKA .....	19
<b>BAB 2 AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN .....</b>	<b>21</b>
2.1. TAHAP KOMUNIKASI AWAL .....	22
2.1.1. Penawaran Jasa Audit Energi .....	22
2.1.2. Permintaan Jasa Audit Energi .....	25
2.1.3. Kebutuhan Data Awal Informasi Industri .....	25
2.2. TAHAP PERSIAPAN .....	27
2.2.1. Penyusunan dan Pengiriman Proposal Penawaran Audit Energi .....	27
2.2.1.1. Identifikasi Peralatan atau Sistem dan Personil ..	27
2.2.1.2. Estimasi Waktu dan Biaya .....	29
2.2.1.3. Penyusunan dan Pengiriman Proposal .....	30
2.2.2. Kesepakatan dan Perjanjian Kerja atau Kontrak .....	31
2.2.3. Pembentukan Tim Audit Energi dan Pembagian Tugas .....	31
2.2.3.1. Pembentukan Tim Audit Energi .....	31
2.2.3.2. Pembagian Tugas .....	33
2.2.4. Persiapan Administrasi dan Teknis .....	36
2.2.4.1. Persiapan Administrasi .....	36
2.2.4.2. Persiapan Teknis .....	36
2.2.5. Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	41
2.2.5.1. Melaksanakan Prosedur K-3 .....	41
2.2.5.2. Menangani Situasi Darurat .....	44
2.2.5.3. Menyesuaikan Perilaku Kerja .....	44
2.2.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	46
2.3. TAHAP PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	46
2.3.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Kegiatan ....	47
2.3.1.1. Pengenalan Tim Auditor Energi .....	47
2.3.1.2. Pemaparan Latar Belakang, Maksud, Tujuan, ....	48
dan Lingkup Kegiatan	
2.3.1.3. Pemaparan Tim <i>Auditee</i> Tentang Sistem .....	48

	dan/atau Peralatan di Pabrik yang akan Diaudit	
	2.3.1.4. Pemaparan Agenda Kegiatan Pengumpulan Data	49
	2.3.1.5. Verifikasi/Klarifikasi Data yang Dikumpulkan .....	50
	2.3.1.6. Pelaksanaan Pemaparan Hasil Awal .....	50
	2.3.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	50
	2.3.2.1. Pengumpulan Data Primer .....	50
	2.3.2.2. Pengumpulan Data Sekunder .....	52
	2.3.3. Verifikasi Hasil Pengumpulan Data Primer dan Sekunder ..	53
	2.3.4. Pemaparan Hasil Awal .....	54
2.4.	TAHAP ANALISIS .....	55
	2.4.1. Potensi Penghematan Energi .....	55
	2.4.2. Analisis Awal Tekno-Ekonomi .....	57
2.5.	TAHAP LAPORAN .....	58
	2.5.1. Penetapan Format dan Kerangka Laporan .....	58
	2.5.1.1. Kerangka dan Format Laporan Gabungan Audit Energi.	59
	2.5.1.2. Kerangka dan Format Laporan Subtim Audit Energi ....	60
	2.5.2. Koordinasi Penyusunan Laporan .....	63
	2.5.2.1. Pembagian Tugas .....	63
	2.5.2.2. Pendistribusian Kerangka dan Format Laporan ..	63
	2.5.2.3. Penyusunan Laporan .....	64
	2.5.3. Penyusunan dan Finalisasi Laporan Gabungan .....	64
	2.5.3.1. Menulis Bab 11 (Analisis Keseluruhan) .....	64
	2.5.3.2. Menulis Bab 12 (Kesimpulan dan Rekomendasi) ..	65
	2.5.3.3. Menulis Ringkasan Eksekutif .....	65
	2.5.3.4. Menulis Kata Pengantar .....	66
	2.5.3.5. Menyusun Daftar Pustaka, Lampiran, .....	66
	serta Daftar Isi Laporan Gabungan	
	2.5.3.6. Penyelesaian Akhir Laporan .....	66
	2.5.4. Penyerahan dan Presentasi Laporan Final Sementara .....	66
	2.5.5. Penyerahan Laporan Final .....	66
	DAFTAR PUSTAKA .....	67
<b>BAB 3</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM KELISTRIKAN .....</b>	<b>69</b>
3.1.	PENGERTIAN SISTEM KELISTRIKAN .....	70
	3.1.1. Pembangkit Tenaga Listrik .....	70
	3.1.2. Jaringan Transmisi dan Distribusi .....	70
	3.1.3. Sistem Kelistrikan di Industri .....	71
	3.1.4. Peluang dan Potensi Penghematan Energi .....	72
	Pada Sistem Kelistrikan	
	3.1.4.1. Sistem Tenaga Kelistrikan .....	72
	3.1.4.2. Motor Listrik .....	73
3.2.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM KELISTRIKAN .....	73
	3.2.1. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	74
	3.2.1.1. Pembentukan Tim .....	74
	3.2.1.2. Pembagian Tugas .....	74



3.2.2.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	75
3.2.2.1.	Persiapan Administrasi .....	75
3.2.2.2.	Persiapan Teknis .....	75
3.2.3.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	78
3.2.4.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	78
3.3.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	78
3.3.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi .....	79
3.3.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	79
3.3.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	80
3.3.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	84
3.3.3.	Verifikasi/Klarifikasi Data Hasil Audit Energi .....	85
3.3.3.1.	Validitas Sumber Data .....	85
3.3.3.2.	Tingkat Akurasi Data .....	85
3.3.4.	Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	86
3.4.	ANALISIS DATA HASIL SURVEI LAPANGAN .....	86
3.4.1.	Sumber Energi Listrik .....	86
3.4.2.	Informasi Tarif Listrik .....	86
3.4.3.	Analisis Penggunaan Energi Listrik Bulanan .....	87
3.4.4.	Neraca Energi Listrik .....	90
3.5.	ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK HARIAN .....	93
3.5.1.	Profil Beban Harian .....	93
3.5.2.	Potensi Penghematan Energi dengan Perbaikan Faktor Daya .....	95
3.5.3.	Analisis Hasil Pengukuran Tegangan .....	96
3.5.4.	Analisis Kualitas Daya Listrik .....	97
3.5.5.	Potensi Penghematan dengan Pemasangan VSD .....	99
3.5.6.	Potensi Penghematan dengan Pemanfaatan Motor Efisiensi Tinggi .....	103
3.5.7.	Menurunkan Pembebanan yang Kurang dan Menghindari Motor yang Ukurannya Terlalu Besar .....	106
3.5.8.	Ukuran Motor untuk Beban Bervariasi .....	107
3.5.9.	Pengaruh Ketidakseimbangan Suplai Tegangan Terhadap Motor .....	107
3.5.10.	Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Arus dan Rugi-rugi Pada Motor .....	108
3.5.11.	Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Umur Isolasi Belitan Motor .....	109
3.5.12.	Penggulungan Ulang .....	111
3.5.13.	Koreksi Faktor Daya dengan Pemasangan Kapasitor .....	112
3.5.14.	Meningkatkan Perawatan .....	112
3.5.15.	Potensi Penghematan dengan Pemanfaatan Lampu TL Tipe T-5. ....	113
3.6.	ANALISIS TEKNO-EKONOMI .....	113
3.6.1.	<i>Pay Back Period (PBP)</i> .....	114
3.6.2.	<i>Return on Investment (ROI)</i> .....	115

3.6.3.	<i>Net Present Value (NPV)</i> .....	116
3.6.4.	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i> .....	118
3.7.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	120
3.7.1.	Sebagai Bagian dari Audit Energi Rinci .....	120
3.7.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Kelistrikan .....	122
	DAFTAR PUSTAKA .....	124
<b>BAB 4</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM BOILER/KETEL</b> .....	<b>127</b>
4.1.	DESKRIPSI BOILER .....	128
4.1.1.	Gambaran Umum.....	128
4.1.2.	Klasifikasi Boiler .....	129
4.1.2.1.	Berdasarkan Fluida yang Mengalir di dalam Pipa .	130
4.1.2.2.	Berdasarkan Pemakaian .....	133
4.1.2.3.	Berdasarkan Poros Tutup Drum ( <i>Shell</i> ) .....	133
4.1.2.4.	Berdasarkan Bentuk dan Letak Pipa .....	134
4.1.2.5.	Berdasarkan Jenis Sirkulasi Air.....	134
4.1.2.6.	Berdasarkan Tekanan Kerja .....	135
4.1.2.7.	Berdasarkan Sumber Energi .....	135
4.2.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM BOILER .....	136
4.2.1.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	136
4.2.1.1.	Pembentukan Tim .....	136
4.2.1.2.	Pembagian Tugas .....	137
4.2.2.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	138
4.2.2.1.	Persiapan Administrasi .....	138
4.2.2.2.	Persiapan Teknis .....	138
4.2.3.	Persiapan dan Pengarahan K-3.....	143
4.2.4.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	143
4.3.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	143
4.3.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi	143
4.3.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	144
4.3.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	144
4.3.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	151
4.3.2.3.	Lembar Kerja .....	151
4.4.	ANALISIS .....	151
4.4.1.	Perhitungan Kinerja/Efisiensi Boiler.....	151
4.4.1.1.	Perhitungan Efisiensi dengan Metode Langsung ..	151
	( <i>Direct Efficiency</i> )	
4.4.1.2.	Perhitungan Efisiensi dengan Metode.....	154
	Tidak Langsung ( <i>Indirect Efficiency</i> )	
4.4.2.	Neraca Panas.....	156
4.4.3.	Konservasi Energi pada Boiler.....	157
4.4.3.1.	Faktor Kelebihan Udara ( <i>Excess Air</i> ).....	157
4.4.3.2.	Faktor Alat Pembakar ( <i>Burner</i> ) .....	160
4.4.3.3.	Beban Boiler ( <i>Firing Rate</i> ) .....	160
4.4.3.4.	Temperatur Gas Buang ( <i>Flue Gas</i> ) .....	161

4.4.3.5.	Temperatur Air Umpan Boiler .....	171
4.4.3.6.	Pemanfaatan Kondensat ( <i>Condensate Recovery</i> ) ..	172
4.4.3.7.	Pengaruh Pengerakan Pada Pipa.....	172
4.4.3.8	Air <i>Blowdown</i> .....	173
4.4.3.9	Kehilangan Panas Pada Bagian Luar Boiler .....	174
4.4.3.10.	Tekanan Uap .....	174
4.4.3.11.	Pengaruh Bahan Bakar .....	177
4.5.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	178
4.5.1.	Sebagai Bagian dari Audit Energi Rinci .....	178
4.5.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Boiler .....	180
	DAFTAR PUSTAKA .....	182
	LAMPIRAN KHUSUS: Contoh Kasus Audit Penghematan Energi pada Boiler ....	183
<b>BAB 5</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM DIESEL-GENERATOR .....</b>	<b>197</b>
5.1.	DESKRIPSI SISTEM DIESEL GENERATOR .....	198
5.1.1.	Gambaran Umum .....	198
5.1.2.	Prinsip Kerja Mesin Diesel .....	198
5.1.3.	Kinerja Mesin Diesel .....	203
5.1.4.	Neraca Massa dan Energi .....	208
5.2.	AUDIT ENERGI PADA SISTEM DIESEL-GENERATOR .....	209
5.2.1.	Tujuan .....	209
5.2.2.	Ruang Lingkup .....	210
5.2.2.1.	Ruang Lingkup Kajian .....	210
5.2.2.2.	Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan .....	210
5.3.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM DIESEL-GENERATOR .....	211
5.3.1.	Data Awal .....	211
5.3.2.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	211
5.3.2.1.	Pembentukan Tim .....	211
5.3.2.2.	Pembagian Tugas .....	212
5.3.3.	Penyusunan Jadwal Kegiatan .....	213
5.3.4.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	214
5.3.4.1.	Persiapan Administrasi .....	214
5.3.4.2.	Persiapan Teknis .....	214
5.3.5.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	218
5.3.6.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	218
5.4.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	219
5.4.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan .....	219
	Audit Energi	
5.4.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	219
5.4.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	219
5.4.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	222
5.4.3.	Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	223
5.5.	ANALISIS .....	223
5.5.1.	Perhitungan Teoritis Efisiensi Mesin .....	224
5.5.2.	Perhitungan Teoritis Pembakaran .....	224

5.5.3.	Perhitungan Panas Buang .....	225
5.5.4.	Perhitungan Daya Keluaran ( <i>Output</i> ) Generator .....	227
5.6.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	232
5.6.1.	Sebagai Bagian dari Audit Energi Rinci .....	232
5.6.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Diesel-Generator .....	234
	DAFTAR PUSTAKA .....	236
<b>BAB 6</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM DISTRIBUSI UAP .....</b>	<b>237</b>
6.1.	TINJAUAN SISTEM DISTRIBUSI UAP .....	238
6.1.1.	Sistem Uap .....	238
6.1.2.	Termodinamika Uap .....	240
6.1.2.1.	Entalpi .....	240
6.1.2.2.	Kualitas Uap .....	240
6.1.2.3.	Tekanan Uap .....	241
6.1.3.	Distribusi Uap .....	241
6.1.3.1.	<i>Steam Trap</i> .....	242
6.1.3.2.	Pemanfaatan Kembali Kondensat .....	244
	( <i>Condensate Recovery</i> )	
6.1.3.3.	Isolasi Pipa Uap dan Peralatan Proses .....	244
6.1.3.4.	Katup Penurun Tekanan .....	247
6.1.3.5.	Tangki <i>Flash</i> .....	248
6.1.3.6.	Tangki Kondensat .....	248
6.2.	AUDIT ENERGI PADA SISTEM DISTRIBUSI UAP .....	248
6.2.1.	Tujuan .....	248
6.2.2.	Ruang Lingkup .....	249
6.2.2.1.	Ruang Lingkup Kajian .....	249
6.2.2.2.	Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan .....	249
6.3.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM DISTRIBUSI UAP .....	250
6.3.1.	Data Awal .....	250
6.3.2.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	251
6.3.2.1.	Pembentukan Tim .....	251
6.3.2.2.	Pembagian Tugas .....	251
6.3.3.	Penyusunan Jadwal Kegiatan .....	252
6.3.4.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	253
6.3.4.1.	Persiapan Administrasi .....	253
6.3.4.2.	Persiapan Teknis .....	253
6.3.5.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	257
6.3.6.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	258
6.4.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	258
6.4.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi .....	258
6.4.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	259
6.4.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	259
6.4.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	262
6.4.3.	Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	262
6.5.	ANALISIS DATA HASIL SURVEI LAPANGAN .....	264



6.5.1.	Analisis Neraca Massa dan Energi .....	264
6.5.2.	Analisis <i>Steam Trap</i> .....	265
6.5.2.1.	Perbaikan <i>Steam Trap</i> .....	265
6.5.2.2.	Pemeliharaan <i>Steam Trap</i> .....	266
6.5.2.3.	Pemantauan ( <i>Monitoring</i> ) <i>Steam Trap</i> .....	266
6.5.3.	Analisis Jaringan Pipa Distribusi Uap .....	266
6.5.3.1.	Perbaikan Kebocoran .....	266
6.5.3.2.	Panas Hilang Pada Permukaan Pipa .....	268
	Tidak Berisolasi	
6.5.3.3.	Panas Hilang Pada Permukaan Pipa Berisolasi ....	271
6.5.3.4.	Perhitungan Kehilangan Panas ( <i>Heat Loss</i> ) .....	276
6.5.4.	Analisis Pada <i>Condensate Recovery</i> .....	276
6.5.4.1.	<i>Flash Steam Recovery</i> .....	276
6.5.4.2.	<i>Condensate Recovery</i> .....	276
6.5.5.	Perhitungan Biaya Pembangkitan Uap .....	277
6.5.6.	Potensi Penghematan Energi .....	279
6.5.7.	Analisis Sistem Uap dengan Pemodelan ( <i>Modelling</i> ) .....	280
6.5.8.	Pengamatan <i>Best Practices</i> Pada Sistem Pembangkitan, ..	284
	Distribusi, dan Pengguna Uap	
6.5.8.1.	Pembangkitan Uap .....	285
6.5.8.2.	Distribusi Uap .....	285
6.5.8.3.	Pengguna-Akhir Uap .....	285
6.5.9.	Rekomendasi .....	285
6.5.10.	Definisi Sistem Uap .....	286
6.6.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	287
6.6.1.	Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci .....	287
6.6.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Distribusi Uap .....	290
	DAFTAR PUSTAKA .....	292

## **BAB 7 AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM INTEGRASI PROSES ..... 293**

7.1.	DEFINISI INTEGRASI PROSES .....	294
7.1.1.	Konsep Dasar <i>Pinch</i> .....	296
7.1.1.1.	<i>Heat Recovery</i> dan <i>Heat Exchanger</i> .....	297
7.1.1.2.	Perpindahan Massa .....	300
7.1.2.	Optimasi Matematis .....	302
7.1.3.	Tahapan Analisis <i>Pinch</i> .....	302
7.1.4.	Modifikasi Proses .....	309
7.1.5.	Desain Jaringan .....	310
7.2.	AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES .....	317
7.2.1.	Tujuan .....	317
7.2.2.	Ruang Lingkup .....	317
7.2.2.1.	Ruang Lingkup Kajian .....	317
7.2.2.2.	Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan .....	317

7.3.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES .....	318
7.3.1.	Data Awal yang Diperlukan .....	318
7.3.2.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	319
7.3.2.1.	Pembentukan Tim .....	319
7.3.2.2.	Pembagian Tugas .....	319
7.3.3.	Jadwal Kegiatan .....	320
7.3.4.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	320
7.3.4.1.	Persiapan Administrasi .....	320
7.3.4.2.	Persiapan Teknis .....	320
7.3.5.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	321
7.3.6.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	325
7.4.	PENGUKURAN/PENGUMPULAN DATA .....	325
7.4.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi .....	325
7.4.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	325
7.4.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	325
7.4.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	326
7.4.3.	Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	327
7.5.	ANALISIS .....	327
7.5.1.	Penurunan Konsumsi Uap di Pabrik <i>Acetic Anhydride</i> .....	327
7.5.2.	Analisis Awal Tekno-Ekonomi .....	330
7.6.	LAPORAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES .....	331
7.6.1.	Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci .....	331
7.6.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Integrasi Proses .....	334
	DAFTAR KEPUSTAKAAN .....	336
<b>BAB 8</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM <i>CHILLER</i> .....</b>	<b>337</b>
8.1.	PENDAHULUAN .....	338
8.1.1.	Definisi dan Jenis <i>Chiller</i> .....	338
8.1.2.	Mekanisme Kerja <i>Chiller</i> .....	340
8.1.3.	Instalasi <i>Chiller</i> .....	341
8.1.4.	Kinerja <i>Chiller</i> .....	343
8.1.4.1.	Acuan Kinerja <i>Chiller</i> .....	344
8.1.4.2.	Faktor Kinerja <i>Chiller</i> dan Pemborosan Energi ...	345
8.1.5.	Satuan-satuan .....	347
8.2.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM <i>CHILLER</i> .....	347
8.2.1.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	348
8.2.1.1.	Pembentukan Tim .....	348
8.2.1.2.	Pembagian Tugas .....	348
8.2.2.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	349
8.2.2.1.	Persiapan Administrasi .....	349
8.2.2.2.	Persiapan Teknis .....	349
8.2.3.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	353
8.2.4.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	353
8.3.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	353
8.3.1.	Pengumpulan Data Primer .....	353

8.3.1.1.	Data Pengukuran .....	354
8.3.1.2.	Waktu dan Periode Pengukuran .....	355
8.3.1.3.	Titik Pengukuran .....	355
8.3.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	357
8.3.3.	Verifikasi Data .....	358
8.4.	ANALISIS .....	358
8.4.1.	Operasional Rutin .....	359
8.4.2.	Pembebanan Kerja .....	360
8.4.3.	Kinerja <i>Chiller</i> .....	362
8.4.4.	Faktor-faktor Lain .....	365
8.5.	PELUANG PENGHEMATAN .....	371
8.5.1.	Profil Harian .....	371
8.5.2.	Pembebanan .....	371
8.5.3.	Faktor-faktor Lain.....	371
8.6.	ANALISIS AWAL TEKNO-EKONOMI .....	372
8.6.1.	<i>Pay Back Period (PBP)</i> .....	373
8.6.2.	<i>Return on Investment (ROI)</i> .....	373
8.6.3.	<i>Net Present Value (NPV)</i> .....	374
8.6.4.	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i> .....	376
8.7.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	378
8.7.1.	Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci .....	378
8.7.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem <i>Chiller</i> .....	379
	DAFTAR PUSTAKA .....	382
<b>BAB 9</b>	<b>AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM POMPA .....</b>	<b>383</b>
9.1.	GAMBARAN UMUM POMPA .....	383
9.1.1.	Pompa Sentrifugal .....	385
9.1.2.	Pompa <i>Positive Displacement</i> .....	386
9.2.	SISTEM POMPA .....	386
9.2.1.	Pendekatan Sistem Pompa .....	388
9.2.1.1.	<i>Adjustable Speed Drive</i> untuk Pompa Motor .....	389
9.2.1.2.	Motor Pompa .....	389
9.2.1.3.	Rugi-rugi Pompa .....	390
9.2.2.	Sistem Fluida .....	390
9.2.3.	Kebutuhan Sistem .....	392
9.2.4.	Parameter Desain dan Kondisi Operasi Aktual .....	392
9.2.5.	Persamaan Fluida pada Sistem Pompa .....	393
9.2.5.1.	<i>Static Head</i> .....	393
9.2.5.2.	<i>Velocity Head</i> .....	394
9.2.5.3.	Rugi-rugi Karena Gesekan .....	394
9.2.5.4.	<i>Output</i> Pompa .....	395
9.2.5.5.	Prinsip Bernoulli .....	396
9.2.5.6.	<i>Specific Gravity/Relative Density</i> .....	398
9.2.5.7.	Kurva <i>Head System</i> .....	398
9.2.5.8.	Titik Kerja Pompa .....	400

9.3.	AUDIT ENERGI PADA SISTEM POMPA .....	402
9.3.1.	Tujuan .....	403
9.3.2.	Ruang Lingkup .....	403
9.3.2.1.	Ruang Lingkup Kajian .....	403
9.3.2.2.	Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan .....	404
9.4.	PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM POMPA .....	404
9.4.1.	Data Awal .....	405
9.4.2.	Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	408
9.4.2.1.	Pembentukan Tim .....	408
9.4.2.2.	Pembagian Tugas .....	408
9.4.3.	Penyusunan Jadwal Kegiatan .....	409
9.4.4.	Persiapan Administrasi dan Teknis .....	409
9.4.4.1.	Persiapan Administrasi .....	409
9.4.4.2.	Persiapan Teknis .....	410
9.4.5.	Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	413
9.4.6.	Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	414
9.5.	PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	414
9.5.1.	Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi .....	414
9.5.2.	Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder .....	415
9.5.2.1.	Pengumpulan Data Primer .....	415
9.5.2.2.	Pengumpulan Data Sekunder .....	416
9.5.3.	Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	416
9.6.	ANALISIS .....	417
9.6.1.	Justifikasi Finansial dan Pertimbangan LCC .....	417
9.6.2.	Pendekatan <i>Prescreening</i> dan Evaluasi Awal .....	417
9.6.3.	Analisis Komponen Sistem .....	417
9.6.4.	Analisis Sistem Fluida .....	417
9.6.5.	Optimasi Sistem .....	417
9.7.	PENYUSUNAN LAPORAN .....	418
9.7.1.	Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci .....	418
9.7.2.	Audit Energi Hanya Pada Sistem Pompa .....	419
	DAFTAR PUSTAKA .....	422
	<b>BAB 10 AUDIT ENERGI DI INDUSTRI: SISTEM MANAJEMEN ENERGI .....</b>	<b>423</b>
10.1.	TINJAUAN UMUM .....	424
10.1.1.	Kebijakan Konservasi dan Manajemen Energi .....	425
10.1.2.	Definisi Manajemen Energi .....	426
10.1.3.	Definisi Audit Energi .....	426
10.1.4.	Standar Acuan .....	426
10.1.5.	Penerapan dan Prinsip-prinsip Penghematan Energi .....	426
10.1.5.1.	Dasar-dasar Istilah Energi .....	426
10.1.5.2.	Mengurangi Rugi-rugi (Kehilangan) Energi .....	429
10.1.5.3.	Meningkatkan Efisiensi Peralatan Pemanfaat Energi .....	429
10.1.5.4.	Menurunkan Biaya Energi .....	430



10.2. PRINSIP-PRINSIP MANAJEMEN ENERGI .....	430
10.2.1. Komitmen Pimpinan Puncak.....	432
10.2.2. Mengembangkan Kebijakan Energi yang Mencakup Kinerja Energi .....	433
10.2.3. Menentukan Lingkup yang Disesuaikan dengan Proses yang Ada .....	433
10.3. PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN ENERGI .....	434
10.3.1. Persyaratan Umum .....	434
10.3.2. Tanggung Jawab Manajemen .....	434
10.3.3. Kebijakan Energi .....	435
10.3.4. Perencanaan Energi .....	436
10.3.4.1. Legal dan Peraturan Lainnya .....	437
10.3.4.2. Tinjauan Energi .....	437
10.3.4.3. Menentukan Pengguna Energi Signifikan ( <i>Significant Energy Use - SEU</i> ) .....	441
10.3.4.4. Mengukur Kinerja Energi Terhadap <i>Base-Line</i> ...	444
10.3.4.5. Identifikasi Potensi Penghematan Energi .....	445
10.3.4.6. Menentukan Tujuan, Target, dan Rencana Tindak ( <i>Action Plan</i> ) .....	445
10.3.4.7. Mengembangkan Rencana Tindak .....	446
10.3.5. Melaksanakan Rencana Manajemen Energi .....	447
10.3.5.1. Kompetensi, Pelatihan ( <i>Training</i> ), dan Kepedulian ( <i>Awareness</i> ) .....	447
10.3.5.2. Komunikasi .....	448
10.3.5.3. Dokumentasi .....	448
10.3.5.4. Kontrol Operasi .....	449
10.3.5.5. Desain .....	449
10.3.5.6. Pengadaan Jasa, Produk, Peralatan, dan Energi .	450
10.3.6. Evaluasi Manajemen Energi .....	450
10.3.6.1. Mengevaluasi Manajemen Energi .....	450
10.3.6.2. Melaksanakan Tinjauan Manajemen .....	451
10.4. AUDIT ENERGI PADA SISTEM MANAJEMEN ENERGI .....	452
10.4.1. Tujuan .....	452
10.4.2. Ruang Lingkup .....	452
10.4.2.1. Ruang Lingkup Kajian .....	452
10.4.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan .....	452
10.5. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM MANAJEMEN ENERGI .....	453
10.5.1. Data Awal .....	453
10.5.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas .....	453
10.5.2.1. Pembentukan Tim .....	453
10.5.2.2. Pembagian Tugas .....	453
10.5.3. Penyusunan Jadwal Kegiatan .....	454
10.5.4. Persiapan Administrasi dan Teknis .....	454
10.5.5. Persiapan dan Pengarahan K-3 .....	456

10.5.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan .....	457
10.6. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER .....	457
10.6.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi .....	457
10.6.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data .....	458
10.6.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi .....	458
10.7. ANALISIS .....	458
10.7.1. Keberadaan Organisasi Manajemen Energi .....	458
10.7.2. Tanggung Jawab Manajemen Puncak .....	458
10.7.3. Kebijakan Energi .....	459
10.7.4. Perencanaan Energi .....	459
10.7.4.1. Legal dan Peraturan Lainnya .....	459
10.7.4.2. Tinjauan Energi .....	459
10.7.4.3. Menentukan Pengguna Energi Signifikan .....	460
( <i>Significant Energy Use - SEU</i> )	
10.7.4.4. Mengukur Kinerja Energi Terhadap <i>Base-Line</i> ..	460
10.7.4.5. Identifikasi Potensi Penghematan Energi .....	460
10.7.4.6. Menentukan Tujuan, Target, dan.....	460
Rencana Tindak ( <i>Action Plan</i> )	
10.7.4.7. Mengembangkan Rencana Tindak .....	460
10.7.5. Pelaksanaan Rencana Manajemen Energi .....	460
10.7.5.1. Kompetensi, Pelatihan ( <i>Training</i> ), .....	460
dan Kepedulian ( <i>Awareness</i> )	
10.7.5.2. Komunikasi .....	461
10.7.5.3. Dokumentasi .....	461
10.7.5.4. Pengendalian Dokumen .....	461
10.7.5.5. Kontrol Operasi .....	461
10.7.5.6. Desain .....	461
10.7.5.7. Pengadaan Jasa, Produk, Peralatan, dan Energi .	461
10.7.6. Evaluasi Manajemen Energi .....	462
10.7.6.1. Mengevaluasi Manajemen Energi .....	462
10.7.6.2. Evaluasi Hukum dan Persyaratan Lainnya .....	462
10.7.6.3. Audit Internal Sistem Manajemen Energi .....	462
10.8. PENYUSUNAN LAPORAN .....	462
10.8.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci .....	462
10.8.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Manajemen Energi .....	465
DAFTAR PUSTAKA .....	466
LAMPIRAN-1 Lembar Isian .....	467
LAMPIRAN-2 Daftar Konversi .....	491
LAMPIRAN-3 Daftar Singkatan .....	501
LAMPIRAN-4 Format Laporan Manajemen Energi di Industri .....	505
LAMPIRAN-5 Daftar Kegiatan Audit Energi BPPT di Industri .....	509
LAMPIRAN-6 Daftar Penulis (Kontributor) .....	513
Indeks .....	521

## PENDAHULUAN

Nur Rachman Iskandar

**N**ovember, tanggal 19 tahun 2009, pemerintah menetapkan dan mengundang sebuah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (RI) - lazim disingkat dengan PP - Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi.

Peraturan Pemerintah ini merupakan turunan atau penjabaran Undang-Undang Republik Indonesia - lazim disingkat dengan UU - Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi yang disahkan dan diundangkan di Jakarta pada tanggal 10 Agustus 2007.

Ditetapkannya PP Nomor 70 Tahun 2009 sekaligus mengakhiri perjalanan Keputusan Presiden RI - lazim disingkat dengan Keppres - Nomor 43 Tahun 1991 tentang Konservasi Energi yang ditetapkan di Jakarta pada tanggal 25 September 1991.

Pada rentang waktu antara 25 September 1991 hingga 18 November 2009 - saat berlakunya Keppres Nomor 43 Tahun 1991 - kegiatan konservasi energi di negara kita didorong untuk dilaksanakan dengan semangat “wajib namun tidak mengikat”. Setiap pengguna energi, khususnya industri, diharapkan dapat menggunakan energinya secara efisien. Bagi industri, baik industri yang menghasilkan barang maupun jasa, konsumsi energi dalam proses produksi atau kegiatan rutinnya diharapkan turun dari waktu ke waktu namun tingkat produktivitasnya tetap. Dengan demikian akan terjadi penurunan biaya energi yang berarti juga penurunan biaya produksi. Salah satu hasil akhirnya adalah meningkatnya daya saing industri di percaturan nasional dan/atau internasional. Disebut tidak mengikat karena bagi yang tidak melaksanakan konservasi energi tidak diberikan sanksi atau hukuman.

Pada kenyataannya para pengguna energi, misalnya industri, memang tidak atau kurang memperhatikan program konservasi energi tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak kunjung turunnya konsumsi energi per satuan produk per satuan waktu di negara kita. Atau dengan kata lain, konsumsi energi di negara kita tetap boros. Ukuran-ukuran keenergian di negara kita, misalnya intensitas energi dan elastisitas energi tetap menunjukkan posisi “juara” bila dibandingkan dengan di negara-negara maju yang telah konsekuen dan konsisten menerapkan program konservasi energi.

Kondisi boros energi seperti ini tentu saja tidak dapat dibiarkan terus berlarut-larut. Sebuah sikap atau tindakan lain mesti diterapkan agar tujuan program konservasi energi dapat diwujudkan. Boleh jadi dasar pemikiran seperti ini yang mendorong ditetapkannya UU Nomor 30 Tahun 2007 dan dilanjutkan dengan PP Nomor 70 Tahun 2009.

Sebagaimana diketahui bahwa di dalam PP Nomor 70 Tahun 2009 telah dimuat ketentuan “hukuman” atau sanksi bagi para pengguna energi dalam jumlah tertentu yang tidak melaksanakan konservasi energi. Ketentuan sanksi ini yang membedakan Keppres Nomor 43 Tahun 1991 dengan PP Nomor 70 Tahun 2009.

Pemerintah “dengan terpaksa” memuat ketentuan sanksi di dalam peraturannya karena program konservasi energi seakan dipandang sebelah mata. Padahal apabila konservasi energi dilaksanakan oleh para pengguna energi pada tingkat apapun, maka hasilnya akan dinikmati oleh si pengguna energi sendiri. Konsumsi energinya menjadi turun dengan demikian uang yang dikeluarkan per satuan waktu untuk belanja bahan bakar atau energi menjadi turun. Di sisi lain barang yang dihasilkan atau tingkat kenyamanannya dalam beraktivitas tidak mengalami penurunan.

Di dalam PP tersebut terdapat 2 buah pasal yang terkait dengan audit energi, yakni Pasal 12 dan 13. Pasal-pasal ini menarik untuk diperhatikan. Isi pasal-pasal pada PP No. 70 Tahun 2009 sebagaimana disebutkan di atas adalah sebagai berikut:

a). Pasal 12

- (1) Pemanfaatan energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi wajib dilakukan secara hemat dan efisien.
- (2) Pengguna sumber energi dan pengguna energi yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun wajib melakukan konservasi energi melalui manajemen energi.
- (3) Manajemen energi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dilakukan dengan:
  - a. menunjuk manajer energi;
  - b. menyusun program konservasi energi;
  - c. melaksanakan audit energi secara berkala;
  - d. melaksanakan rekomendasi hasil audit energi; dan

- e. melaporkan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya masing-masing.

b). Pasal 13

- (1) Audit energi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 ayat (3) huruf c dilakukan oleh auditor energi internal dan/atau lembaga yang telah terakreditasi.
- (2) Manajer energi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 ayat (3) huruf a dan auditor energi sebagaimana dimaksud pada ayat (1), wajib memiliki sertifikat kompetensi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.
- (3) Program konservasi energi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 ayat (3) huruf b disusun oleh pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi, paling sedikit memuat informasi mengenai:
  - a. rencana yang akan dilakukan;
  - b. jenis dan konsumsi energi;
  - c. penggunaan peralatan hemat energi;
  - d. langkah-langkah konservasi energi; dan
  - e. jumlah produk yang dihasilkan atau jasa yang diberikan.
- (4) Laporan pelaksanaan konservasi energi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 ayat (3) huruf e disusun berdasarkan program konservasi energi sebagaimana dimaksud pada ayat (3).
- (5) Ketentuan lebih lanjut mengenai tata cara penyusunan program dan pelaporan hasil pelaksanaan konservasi energi sebagaimana dimaksud pada ayat (3) dan ayat (4) diatur dengan Peraturan Menteri.

Ketentuan pada pasal-pasal tersebut di atas, khususnya Pasal 12, ayat (3), huruf c serta Pasal 13, ayat (1) dan (2) memberikan konsekuensi kepada pemilik atau pengelola industri - dalam hal ini industri yang penggunaan sumber energi dan/atau energinya lebih besar atau sama dengan 6.000 setara ton minyak per tahun - melakukan audit energi secara berkala. Audit energi ini dapat dilakukan oleh auditor energi internal. Bila tidak memungkinkan, audit energi dilakukan oleh auditor energi eksternal. Berdasarkan ketentuan di dalam PP tersebut di atas, auditor energi yang melakukannya adalah auditor energi yang memiliki sertifikat kompetensi.

Selanjutnya, bagaimana cara mengetahui atau menghitung bahwa suatu industri sudah sama dengan atau melampaui angka 6.000 setara ton minyak per tahun dalam penggunaan sumber energi dan/atau energinya?

PP No. 70 Tahun 2009 di dalam penjelasannya menyertakan faktor konversi, sebagai berikut:

Setara 1 ton minyak = 41,9 Giga Joule (GJ)  
 = 1,15 kilo-liter minyak bumi (kl minyak bumi)  
 = 39,68 *million British Thermal Unit* (MMBTU)  
 = 11,63 *Megawatt-hour* (MWh)

dengan demikian, maka:

**Setara 6.000 ton minyak** = 251.400 GJ  
 = 6.900 kl minyak bumi  
 = 238.080 MMBTU  
 = 69.780 MWh

Dengan berbekal faktor konversi tersebut maka pihak industri dapat dengan cepat dan mudah menghitung serta mengubah satuan energi total yang dikonsumsi per tahun dalam satuan setara ton minyak. Masing-masing jenis sumber energi dan/atau energi yang digunakan dalam 1 tahun dikonversikan menjadi salah satu satuan energi tersebut di atas (GJ, kl minyak bumi, MMBTU, atau MWh). Kemudian hasilnya dijumlahkan dan dikonversikan dalam satuan setara ton minyak.

Sebagai contoh, sebuah industri dalam 1 tahun mengkonsumsi 10.000 ton batubara bernilai kalori 5.700 kcal/kg, IDO (*industrial diesel oil*) 100 kilo-liter, dan listrik dari PT PLN (Persero) 20.000 MWh. Apakah konsumsi energi total industri ini sudah sama dengan atau melampaui angka 6.000 setara ton minyak?

Untuk mengetahuinya, masing-masing satuan sumber energi diubah, misalnya menjadi GJ (lihat daftar konversi energi pada Lampiran-2). Maka 10.000 ton batubara bernilai-kalori 5.700 kcal/kg setara dengan 238.647,60 GJ. Kemudian 100 kilo-liter IDO setara dengan 3.696 GJ. Dan, 20.000 MWh listrik setara dengan 72.055,03 GJ. Dengan demikian energi total yang digunakan selama 1 tahun adalah penjumlahan 238.647,60 GJ dengan 3.696 GJ dan 72.055,03 GJ atau sama dengan 314.398,63 GJ atau 7.504 setara ton minyak. Dari hasil perhitungan ini diperoleh angka bahwa penggunaan energi per tahun di industri tersebut sebesar 7.504 setara ton minyak atau sudah melampaui batas 6.000 setara ton minyak sebagaimana ditetapkan oleh PP No. 70 Tahun 2009. Sebagai konsekuensinya industri tersebut wajib melakukan konservasi energi melalui manajemen energi.

*Penetapan batasan angka 6.000 setara ton minyak dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa pengguna energi dengan konsumsi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun tidak terlalu banyak, tetapi total konsumsi energinya mencapai sekitar 60% (enam puluh persen) dari penggunaan energi nasional. Dengan kata lain, apabila langkah-langkah konservasi energi berhasil dilakukan pada kelompok tersebut, maka dampak penghematan secara nasional akan signifikan.* Demikian dituliskan di dalam Penjelasan PP No. 70 Tahun 2009.

Dari penjelasan di atas diperoleh informasi bahwa (lebih) banyak pengguna energi dengan konsumsi di bawah 6.000 setara ton minyak per tahun. Dan kelompok ini mengkonsumsi sekitar 40% (empat puluh persen) dari penggunaan energi nasional.

Sekali pun pelaksanaan manajemen energi hanya diwajibkan bagi pengguna energi dengan konsumsi sama dengan atau lebih besar dari 6.000 setara ton minyak, namun

patut untuk dipertimbangkan bagi pengguna energi yang konsumsinya di bawah batas 6.000 setara ton minyak untuk melakukan pula aktivitas manajemen energi. Di samping ikut menunjang program konservasi energi nasional, hasilnya pun langsung dapat dinikmati oleh pihak pengguna energi atau industri. Hasil yang dimaksudkan di sini adalah hemat dan efisien dalam penggunaan energi tanpa menurunkan produktivitas. Ini dapat berdampak pada potensi penurunan biaya produksi, yang selanjutnya akan meningkatkan daya saing produk di pasaran.

Penghematan energi yang terus diupayakan di negara kita memiliki alasan yang sangat kuat. Fakta menunjukkan bahwa pemanfaatan energi di negara kita masih tergolong tidak efisien atau boros. Program konservasi energi yang mulai dijalankan sejak tahun 1980 tampaknya belum menunjukkan hasil yang menggembirakan hingga saat ini.

Ketentuan di bidang keenergian, khususnya menyangkut konservasi energi, yang diatur di dalam UU No. 30 Tahun 2007 dan PP No. 79 Tahun 2009 dapat dikatakan merupakan sebuah produk dari suatu perjalanan panjang di bidang energi nasional. Produk terbaru adalah PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang ditetapkan dan diundangkan pada tanggal 17 Oktober 2014.

Kenyataan bahwa pemanfaatan energi di negara kita dari tahun ke tahun masih dalam status boros menjadi perhatian dan keprihatinan bersama. Berbagai upaya terus dilakukan untuk menuju kondisi efisien. Upaya-upaya ini di samping untuk memberikan jaminan penyediaan energi bagi generasi mendatang juga dalam rangka peningkatan daya saing produk nasional di kancah internasional. Selain itu secara berbarengan juga dalam misi penyelamatan/pelestarian lingkungan.

## 1.1. KONDISI KEENERGIAN NASIONAL

Pada rentang tahun antara 2009 hingga 2019, *draft* Kebijakan Energi Nasional (KEN) negara kita menyajikan tiga parameter penting yang patut untuk dicermati. Pertama, selama sepuluh tahun tersebut pertumbuhan ekonomi kita sebesar 6,1 persen per tahun. Bila GDP (*Gross Domestic Product*) pada tahun 2009 sebesar Rp2.177,00 triliun, maka pada tahun 2019 diperkirakan menjadi Rp3.943,00 triliun.

Kedua, pertumbuhan penduduk sebesar 1,1 persen per tahun. Bila pada tahun 2009 jumlah penduduk kita sekitar 231 juta jiwa, maka pada tahun 2019 akan berjumlah sekitar 256 juta jiwa. Yang terakhir atau ketiga, pertumbuhan kebutuhan energi kita sebesar 7,1 persen per tahun. Jika pada tahun 2009 kebutuhan energi kita sebesar 712 juta setara barrel minyak (SBM), maka pada tahun 2019 akan menjadi 1.316 juta SBM (M. Hutapea. 2014).

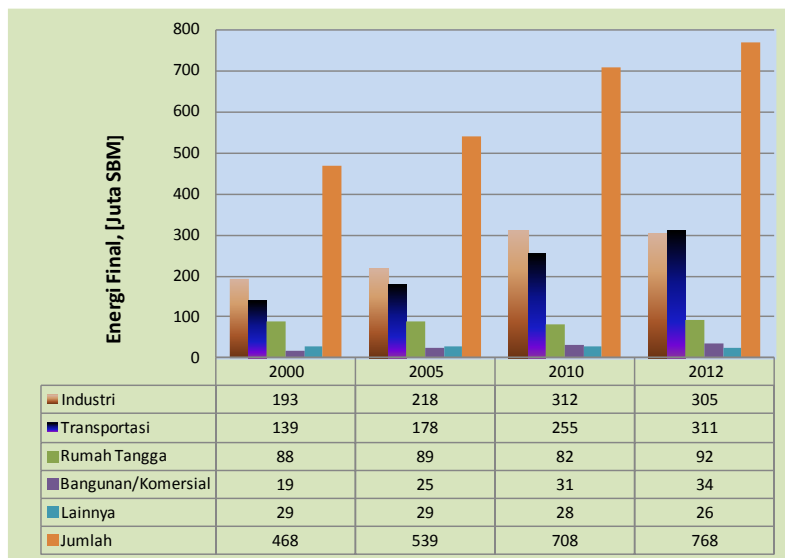
*Handbook of Energy Economic Statistics of Indonesia 2013* mencatat bahwa konsumsi energi final kita terus mengalami kenaikan. Bila pada tahun 2000 konsumsi energi final dari 4 kategori atau sektor sebesar 468 juta setara barel minyak (SBM) maka konsumsi energi final pada tahun 2005, 2010, dan 2012 berturut-turut sebesar 539, 708, dan 768 juta SBM. Serial konsumsi energi final per sektor dari tahun 2000 hingga 2012 dapat dilihat pada Tabel 1-1, dan visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 1-1.

Mencermati angka-angka konsumsi energi final pada tahun 2005, 2010, dan 2012 sebagaimana dituliskan di atas tampak bahwa secara absolut terjadi kenaikan dari 539 juta SBM (2005) menjadi 708 juta SBM pada tahun 2010. Selanjutnya konsumsinya naik lagi menjadi 768 juta SBM pada tahun 2012. Terhadap angka-angka ini belum dapat dikatakan bahwa tahun 2010 lebih boros dibandingkan tahun 2005. Atau tahun 2012 lebih boros dibandingkan tahun 2010.

Tabel 1-1  
Konsumsi energi final antara tahun 2000 hingga 2012

Sektor	Konsumsi Energi Final, [Juta SBM]			
	2000	2005	2010	2012
Industri	193	218	312	305
Transportasi	139	178	255	311
Rumah Tangga	88	89	82	92
Bangunan/Komersial	19	25	31	34
Lainnya	29	29	28	26
Jumlah	468	539	708	768

(Sumber: M. Hutapea. 2014 dan *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia 2013*).



Gambar 1-1. Konsumsi energi final antara tahun 2000 hingga 2012.

(Sumber: M. Hutapea. 2014 dan *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia 2013*).

Untuk menyatakan lebih boros atau tidak digunakan sebuah ukuran yang disebut dengan intensitas energi. Pengertian intensitas energi adalah jumlah total konsumsi



energi untuk menghasilkan satu satuan produk domestik bruto (PDB). Atau dalam bentuk praktis ditulis, sebagai berikut:

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Jumlah Total Konsumsi Energi}}{\text{Unit Produk Domestik Bruto}}$$

- Keterangan:
- Jumlah total konsumsi energi, misal dalam satuan setara barrel minyak (SBM);
  - Unit Produk Domestik Bruto, misal dalam satuan miliar rupiah.

Intensitas energi final pada tahun 2005, 2010, dan 2012 tercatat secara berturut-turut 340, 343, dan 335 SBM per miliar Rupiah. Dengan angka-angka ini dapat dikatakan bahwa tahun 2010 lebih boros dibandingkan tahun 2005. Sedangkan tahun 2012 lebih hemat dibandingkan tahun 2005 dan 2010.

Dengan demikian mudah dipahami bahwa nilai intensitas energi yang semakin kecil atau turun menunjukkan suatu kondisi keenergian yang semakin hemat atau efisien. Sebaliknya, bila nilai intensitas energi semakin besar atau naik maka kondisinya semakin boros.

Selain intensitas energi, dikenal pula besaran elastisitas energi. Pengertian elastisitas energi adalah perbandingan antara laju pertumbuhan kebutuhan Energi terhadap laju pertumbuhan ekonomi. Atau dalam bentuk praktis ditulis:

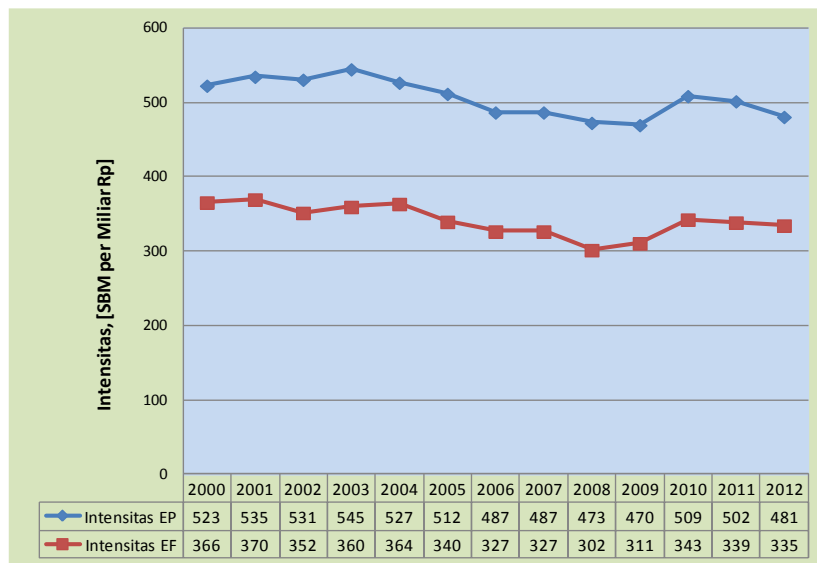
$$\text{Elastisitas Energi} = \frac{\text{Laju Pertumbuhan Kebutuhan Energi}}{\text{Laju Pertumbuhan Ekonomi}}$$

- Keterangan:
- Laju pertumbuhan kebutuhan energi, [persen per tahun]
  - Laju pertumbuhan ekonomi, [persen per tahun]

Serial intensitas energi primer dan final pada rentang waktu tahun 2000 hingga 2012 dapat dilihat pada Gambar 1-2.

Pada tanggal 17 Oktober 2014 telah ditetapkan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pasal 8 PP tersebut menyebutkan bahwa sasaran penyediaan dan pemanfaatan Energi Primer dan Energi Final sebagai berikut:

- a. Terpenuhinya penyediaan energi primer pada tahun 2025 sekitar 400 MTOE (empat ratus *million tonnes of oil equivalent*) dan pada tahun 2050 sekitar 1.000 MTOE (seribu *million tonnes of oil equivalent*);
- b. Tercapainya pemanfaatan energi primer per kapita pada tahun 2025 sekitar 1,4 TOE dan pada tahun 2050 sekitar 3,2TOE;
- c. Terpenuhinya penyediaan kapasitas pembangkit listrik pada tahun 2025 sekitar 115 GW (seratus lima belas giga watt) dan pada tahun 2050 sekitar 430 GW (empat ratus tiga puluh giga watt); dan
- d. Tercapainya pemanfaatan listrik per kapita pada tahun 2025 sekitar 2.500 kWh (dua ribu lima ratus *kilo watt hours*) dan pada tahun 2050 sekitar 7.000 kWh.



Gambar 1-2. Perbandingan intensitas energi primer dan final, tahun 2000 s.d 2012.

(Sumber: M. Hutapea. 2014 dan *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia 2013*).

Sedangkan Pasal 9 pada PP yang sama disebutkan bahwa untuk pemenuhan penyediaan energi dan pemanfaatan energi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8, diperlukan pencapaian sasaran kebijakan energi nasional sebagai berikut:

- a. Terwujudnya paradigma baru bahwa sumber energi merupakan modal pembangunan nasional;
- b. Tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari 1 (satu) pada tahun 2025 yang diselaraskan dengan target pertumbuhan ekonomi;
- c. Tercapainya penurunan intensitas energi final sebesar 1 persen per tahun sampai dengan tahun 2025;
- d. Tercapainya rasio elektrifikasi sebesar 85 persen pada tahun 2015 dan mendekati sebesar 100 persen pada tahun 2020;
- e. Tercapainya rasio penggunaan gas rumah tangga pada tahun 2015 sebesar 85 persen; dan
- f. Tercapainya bauran energi primer yang optimal:
  1. Pada tahun 2025 peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23 persen dan pada tahun 2050 paling sedikit 31 persen sepanjang keekonomiannya terpenuhi;
  2. Pada tahun 2025 peran minyak bumi kurang dari 25 persen dan pada tahun 2050 menjadi kurang dari 20 persen;
  3. Pada tahun 2025 peran batubara minimal 30 persen, dan pada tahun 2050 minimal 25 persen; dan

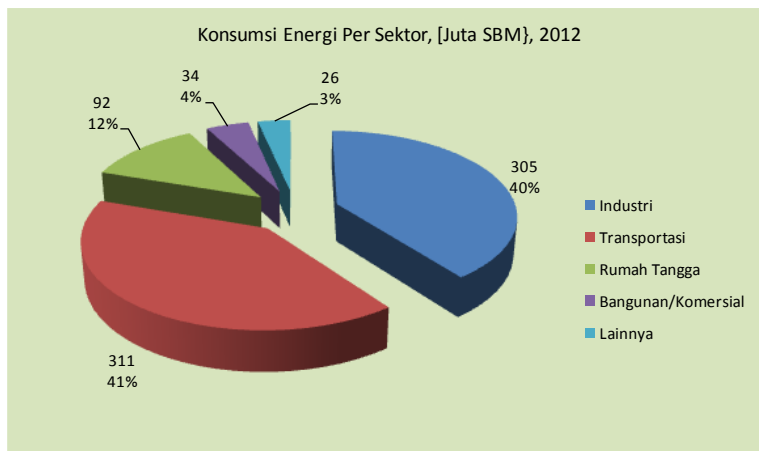
4. pada tahun 2025 peran gas bumi minimal 20 persen dan pada tahun 2050 minimal 24 persen.

Konsumsi energi per sektor pada tahun 2012 dan target penghematan energi per sektor pada tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 1-2 dan Gambar 1-3. Tampak bahwa sektor industri ditargetkan dapat menghemat energi sebesar 17 persen, sedangkan sektor-sektor transportasi, rumah tangga, bangunan komersial, dan lainnya berturut turut ditargetkan sebesar 20, 15, dan 15 persen.

Tabel 1-2  
Konsumsi energi per sektor, tahun 2012 dan target penghematan energi per sektor, tahun 2025

Sektor	Konsumsi Energi Tahun 2012		Potensi Penghematan Energi, [%]	Target Penghematan Energi Tahun 2025, [%]
	[Juta SBM]	Persen		
Industri	305	39,70	10 - 30	17
Transportasi	311	40,40	15 - 35	20
Rumah Tangga	92	12,00	15 - 30	15
Bangunan/Komersial	34	4,40	10 - 30	15
Lainnya (Pertanian, Konstruksi, Pertambangan)	26	3,40	25	

(Sumber: M. Hutapea. 2014 dan *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia* 2013).



Gambar 1-3. Konsumsi energi per sektor tahun 2012.

(Sumber: M. Hutapea. 2014 dan *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia* 2013).

Guna mewujudkan hal-hal di atas yang merupakan kebijakan utama, Pasal 17 PP ini menetapkan kebijakan pendukung, yaitu: Pemerintah dan/atau Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya menetapkan pedoman dan penerapan kebijakan konservasi energi, khususnya di bidang hemat Energi, paling sedikit meliputi:

- a. Kewajiban standardisasi dan labelisasi semua peralatan pengguna energi;
- b. Kewajiban manajemen energi termasuk audit energi bagi pengguna energi;
- c. Kewajiban penggunaan teknologi pembangkit listrik dan peralatan konversi energi yang efisien;
- d. Sosialisasi budaya hemat energi;
- e. Mewujudkan iklim usaha bagi berkembangnya usaha jasa energi sebagai investor dan penyedia energi secara hemat;
- f. Mempercepat penerapan dan/atau pengalihan ke sistem transportasi massal, baik transportasi perkotaan maupun antar kota yang efisien;
- g. Mempercepat penerapan jalan berbayar (*electronic road pricing*) untuk mengurangi kemacetan yang ditimbulkan oleh kendaraan pribadi; dan
- h. Penetapan target konsumsi bahan bakar di sektor transportasi dilakukan secara terukur dan bertahap untuk peningkatan efisiensi.

## 1.2. PERATURAN KEENERGIAN NASIONAL

Peraturan perundangan tentang keenergian nasional setidaknya dapat ditelusuri sejak tahun 1980 dengan ditetapkannya Keputusan Presiden RI (Keppres) Nomor 46 Tahun 1980 tentang Badan Koordinasi Energi Nasional (Bakoren), yang ditetapkan di Jakarta, 04 Agustus 1980. Dua tahun kemudian, tahun 1982, diterbitkan Instruksi Presiden Republik Indonesia (Inpres) Nomor 9 Tahun 1982 tentang Konservasi Energi.

Beberapa waktu setelah diterbitkannya Inpres tersebut di atas pemerintah menindaklanjuti dengan menetapkan Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sejak tahun 1980 konservasi energi sudah mendapat perhatian khusus pemerintah.

Tahun demi tahun berlalu, peraturan demi peraturan ditetapkan dan diberlakukan, serta target capaian penghematan energi juga ditetapkan. Namun kenyataan menunjukkan bahwa konsumsi energi nasional tidak mengalami penghematan secara signifikan. Beberapa kondisi yang menjadi kendala atau hambatan untuk tercapainya penghematan energi telah diidentifikasi. Misalnya, kenyataan bahwa harga energi kita relatif “lebih murah” dibandingkan di negara-negara tetangga. Kondisi lainnya adalah kenyataan bahwa program sosialisasi penghematan energi masih kurang berbicara pada sisi kualitas. Dapat dikatakan bahwa hingga tahun 2014, budaya hemat energi masih belum terbentuk.

Kerja “ekstra keras” masih diperlukan untuk membentuk budaya hemat energi pada semua lapisan masyarakat kita. Dari sisi regulasi pemerintah juga terus berupaya mengaturnya melalui serial peraturan dan perundangan. Berikut disajikan serial peraturan dan perundangan di bidang energi.

1980 : Keppres No.46 Tahun 1980 tentang Badan Koordinasi Energi Nasional. Ditetapkan di Jakarta, 04 Agustus 1980.

{Catatan: Keppres ini 4 kali diubah dengan 1) Keppres Nomor 75 Tahun 1980, 2) Keppres Nomor 75 Tahun 1984 (29 Desember 1984), 3) Keppres Nomor 2 Tahun 1999 (07 Januari 1999), dan 4) Keppres Nomor 23 Tahun 2000 (23 Februari 2000)}.

- 1982 : Inpres Nomor 9 Tahun 1982 tentang Konservasi Energi. Dikeluarkan di Jakarta, 07 April 1982.
- 1991 : Keppres No.43 Tahun 1991 tentang Konservasi Energi. Dikeluarkan di Jakarta, 25 September 1991.
- 1995 : *Masterplan* Konservasi Energi Nasional Tahun 1995 (direvisi tahun 2005)
- 2002 : Undang-Undang RI (UU) Nomor 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Disahkan dan diundangkan di Jakarta, 16 Desember 2002.
- 2004 : Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 0002 Tahun 2004 tentang Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau). Ditetapkan di Jakarta, 02 Januari 2004.
- 2005 : Inpres Nomor 10 Tahun 2005 tentang Penghemat Energi. Dikeluarkan di Jakarta, 10 Juli 2005.
- 2006 : Peraturan Presiden RI (Perpres) Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Ditetapkan di Jakarta, 25 Januari 2006.
- 2007 : UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi. Disahkan di Jakarta, 10 Agustus 2007.
- 2008 : 1) Inpres No. 2 Tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air. Dikeluarkan di Jakarta, 05 Mei 2008.  
2) Perpres No 26 Tahun 2008 tentang Pembentukan Dewan Energi Nasional dan Tata Cara Penyaringan Calon Anggota Dewan Energi Nasional. Ditetapkan di Jakarta, 07 Mei 2008.
- 2009 : Peraturan Pemerintah RI (PP) Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi. Ditetapkan dan diundangkan di Jakarta, 16 November 2009
- 2011 : 1) Inpres No 13 Tahun 2011 tentang Penghematan Air dan Energi. Dikeluarkan di Jakarta, 11 Agustus 2011.  
2) Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca. Ditetapkan di Jakarta, 20 September 2011.
- 2012 : 1) Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) No.13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik. Ditetapkan di Jakarta, 29 Mei 2012 dan diundangkan di Jakarta, 30 Mei 2012.  
2) Permen ESDM No.14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi. Ditetapkan di Jakarta, 29 Mei 2012 dan diundangkan di Jakarta, 30 Mei 2012.  
3) Permen ESDM No.15 Tahun 2012 tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah. Ditetapkan di Jakarta, 29 Mei 2012 dan diundangkan di Jakarta, 30 Mei 2012.
- 2013 : 1) Permen ESDM No.1 Tahun 2013 tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak. Ditetapkan dan diundangkan di Jakarta, 02 Januari 2013.  
2) Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM No.4051 K/07/MEM/2013 tentang Catur Dharma Energi. Ditetapkan di Jakarta, 27 Desember 2013.
- 2014 : PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Ditetapkan dan diundangkan di Jakarta, 17 Oktober 2014.

### 1.3. TUJUAN

Dengan memperhatikan uraian pada Subbab 1.2 diperoleh informasi bahwa program konservasi energi di negara kita telah dimulai sejak tahun 1980-an.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) melalui Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Suber Daya Energi (UPT-LSDE), kini menjadi Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), memulai kegiatan audit energi pada tahun 1991. Kegiatannya dilaksanakan bekerja sama dengan Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE), Departemen Pertambangan dan Energi, kini Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta Masyarakat Eropa yang diwakili oleh TÜV (*Technischer Überwachungsverein*) Rheinland, Jerman.

Selain BPPT pada saat itu audit energi juga dilaksanakan oleh beberapa instansi lainnya, misalnya Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Institut Teknologi Bandung (ITB), PT Konservasi Energi Abadi (Koneba)(Persero) kini PT Energy Management Indonesia (EMI)(Persero), dan beberapa lainnya.

Seiring dengan pelaksanaan kegiatannya, masing-masing instansi juga menerbitkan buku-buku panduan tentang penghematan energi, baik di industri, gedung, rumah tangga, dan transportasi. Demikian pula buku tentang audit energi.

Pada tahun 2015 ini B2TE, BPPT menerbitkan (kembali) buku tentang audit energi di industri. Penerbitan buku ini bertujuan untuk:

- a. Menyebarluaskan pengetahuan tentang audit energi, khususnya audit energi di industri;
- b. Membantu anggota masyarakat yang akan melakukan kegiatan audit energi di industri;
- c. Mendorong industri untuk dapat melaksanakan audit energi secara mandiri;
- d. Mendukung penerapan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP), Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, khususnya di bidang audit energi di industri.

Selain 4 butir tersebut di atas hal penting yang diharapkan dapat dicapai, khususnya bagi masyarakat industri adalah terwujudnya budaya hemat energi. Melalui kegiatan audit energi segenap personil yang terlibat secara langsung atau tidak langsung mulai atau semakin “mengasah” kemampuannya untuk menganalisis potensi-potensi penghematan energi. Dengan demikian diharapkan pula akan semakin “tajam” nalurinya dalam “mengendus” potensi-potensi penghematan energi. Naluri ini diharapkan dapat terhubung dengan perilaku keseharian di bidang pemanfaatan energi. Sehingga dapat menumbuhkan perilaku keseharian yang hemat energi.

### 1.4. DEFINISI

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, Bab I (Ketentuan Umum), Pasal 1, butir 14, audit energi didefinisikan sebagai proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi

dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

Definisi audit energi tersebut di atas juga digunakan di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung, butir 3 (Istilah dan Definisi), subbutir 3.1 (Audit Energi), halaman 1.

Pada pelaksanaannya audit energi terdiri atas beberapa jenis atau tingkatan. Penggolongan jenis atau tingkatannya juga terdapat berbagai versi. Menurut Albert Thumann dan William J. Younger, audit energi terdiri atas 3 tingkat (*level*). Tingkat 1 disebut *Walk-Through Audit*. Auditor berkeliling (*tour*) di dalam pabrik untuk mengamati dan mencatat berbagai fasilitas atau peralatan pabrik pengguna atau pengubah energi. Selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif dan pola penggunaan energi.

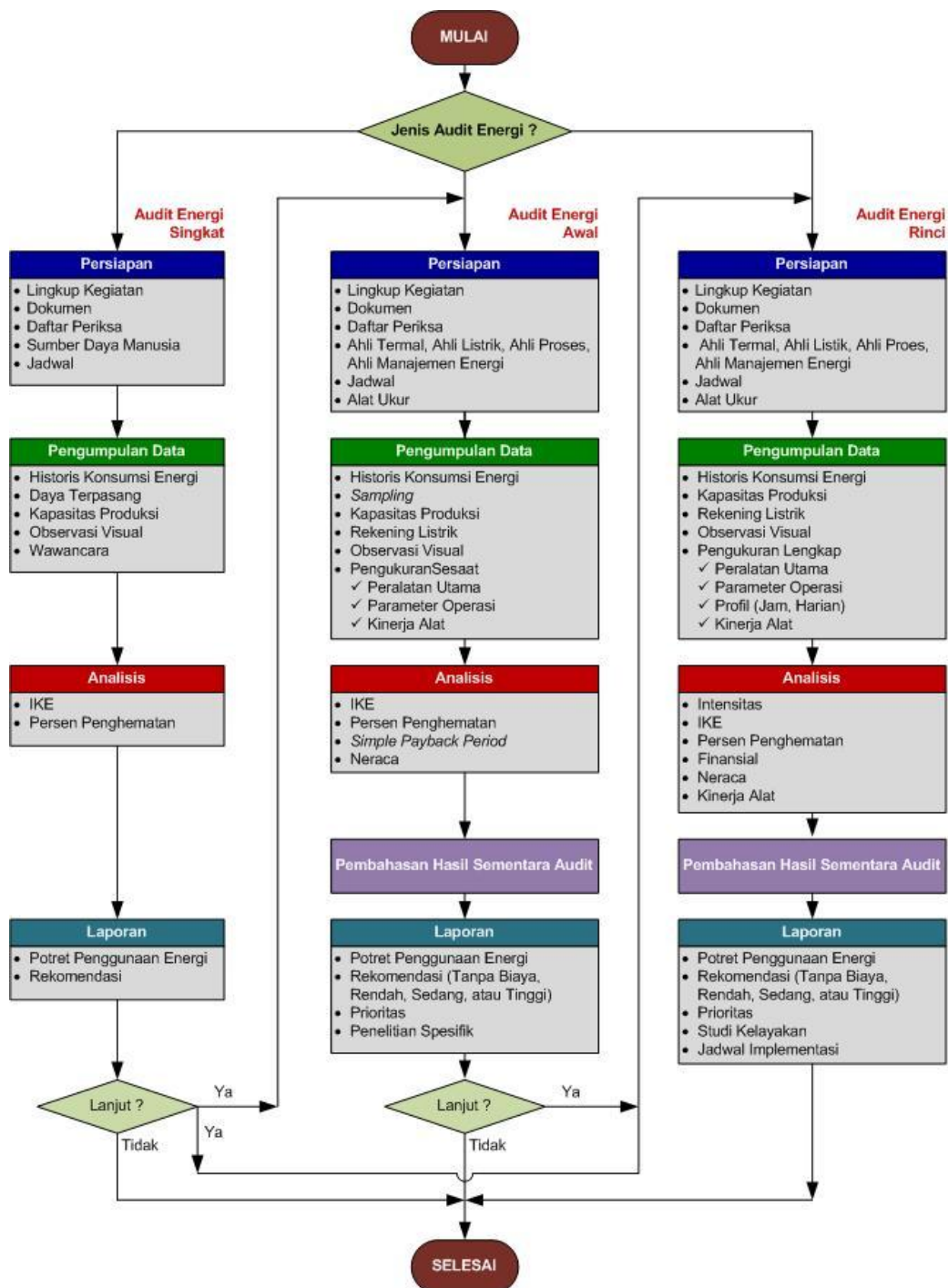
Tingkat 2 disebut *Standard Audit*. Auditor melakukan kegiatan yang lebih rinci dibandingkan dengan kegiatan pada Tingkat 1. Kegiatannya meliputi pengukuran-pengukuran parameter operasi peralatan. Selanjutnya dilakukan analisis penghematan energi dan biaya berdasarkan peningkatan kinerja atau penggantian sistem atau peralatan. Analisisnya juga meliputi tekno-ekonomi.

Yang terakhir adalah Tingkat 3 dengan sebutan *Computer Simulation*. Kegiatannya dilakukan dengan lebih rinci dibandingkan pada Tingkat 2. Dalam melakukan analisisnya digunakan piranti lunak (*software*) simulasi komputer. Dari segi pembiayaan kegiatan, audit energi pada Tingkat 3 ini yang termahal.

Jenis atau tingkat audit energi pada buku ini diadopsi dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 6196:2011. Sekalipun SNI 6196-2011 adalah standar tentang Prosedur Audit Energi pada Gedung namun secara prinsip prosedurnya dapat diadopsi untuk audit energi di industri. Oleh karena itu untuk audit energi di industri dapat dibagi menjadi 3 jenis atau tingkatan: (1) Audit Energi Singkat (*Walk-Through Energy Audit*), (2) Audit Energi Awal (*Preliminary Energy Audit*), dan (3) Audit Energi Rinci/Lengkap (*Detail Energy Audit*). Ketiga jenis atau tingkat audit energi yang diadopsi dari SNI tersebut di atas dapat dilihat pada diagram Gambar 1-4. Guna memudahkan pembaca dalam membedakan ketiga jenis atau tingkat audit energi tersebut, butir-butir utama pada Gambar 1-4 disajikan pada Tabel 1-3.

Berdasarkan diagram pada Gambar 1-4, secara normatif, audit energi dimulai dari audit energi singkat. Kemudian dilanjutkan dengan audit energi awal, dan diakhiri dengan audit energi rinci. Keputusan untuk melanjutkan audit energi dari tahap sebelumnya ke tahap berikutnya sangat bergantung kepada hasil yang diperoleh pada tahap sebelumnya.

Misalnya, hasil dari audit energi singkat mengindikasikan terdapat keborosan dalam penggunaan energi atau dengan kata lain terdapat potensi penghematan energi yang signifikan. Untuk itu perlu dilakukan tahapan audit energi berikutnya, yaitu audit energi awal atau audit energi rinci guna mengkuantifikasi sekaligus mewujudkan potensi tersebut. Sebaliknya, bila hasil audit energi singkat menyatakan bahwa pemanfaatan energi di industri tersebut sudah tergolong efisien maka dapat diputuskan bahwa audit energi tidak perlu dilanjutkan ke tahap berikutnya. Sekalipun demikian industri tersebut tetap disarankan untuk terus menjaga sekaligus meningkatkan efisiensi energinya.



Gambar 1-4. Diagram jenis atau tingkat dan proses audit energi di industri, diadopsi dari SNI 6196-2011.



Tabel 1-3  
Deskripsi jenis audit energi dengan mengadopsi SNI 6196-2011

Tahap	Audit		
	Singkat	Awal	Rinci
Persiapan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lingkup Kegiatan</li> <li>• Dokumen</li> <li>• Daftar Periksa</li> <li>• Sumber Daya Manusia</li> <li>• Jadwal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lingkup Kegiatan</li> <li>• Dokumen</li> <li>• Daftar Periksa</li> <li>• Ahli Termal, Ahli Listrik, Ahli Proses, Ahli Manajemen Energi</li> <li>• Jadwal</li> <li>• Alat Ukur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lingkup Kegiatan</li> <li>• Dokumen</li> <li>• Daftar Periksa</li> <li>• Ahli Termal, Ahli Listrik, Ahli Proses, Ahli Manajemen Energi</li> <li>• Jadwal</li> <li>• Alat Ukur</li> </ul>
Pengumpulan Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historis Konsumsi Energi</li> <li>• Kapasitas Produksi</li> <li>• Daya Terpasang</li> <li>• Biaya Energi</li> <li>• Observasi Visual</li> <li>• Wawancara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historis Konsumsi Energi</li> <li>• <i>Sampling</i></li> <li>• Kapasitas Produksi</li> <li>• Rekening Listrik</li> <li>• Biaya Energi</li> <li>• Observasi Visual</li> <li>• Pengukuran Sesaat: <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Peralatan Utama</li> <li>➢ Parameter Operasi</li> <li>➢ Kinerja Alat</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historis Konsumsi Energi</li> <li>• Kapasitas Produksi</li> <li>• Rekening Listrik</li> <li>• Biaya Energi</li> <li>• Observasi Visual</li> <li>• Pengukuran Lengkap: <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Peralatan Utama</li> <li>➢ Parameter Operasi</li> <li>➢ Profil (jam, harian)</li> <li>➢ Kinerja Alat</li> </ul> </li> </ul>
Analisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IKE</li> <li>• Persen Penghematan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IKE</li> <li>• Persen Penghematan</li> <li>• <i>Simple Payback Period</i></li> <li>• Neraca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensitas</li> <li>• IKE</li> <li>• Persen Penghematan</li> <li>• Finansial</li> <li>• Neraca</li> <li>• Kinerja Alat</li> </ul>
Pembahasan Sementara Hasil Audit	--	Pembahasan Sementara Hasil Audit	Pembahasan Sementara Hasil Audit
Laporan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potret Penghematan Energi</li> <li>• Rekomendasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potret Penghematan Energi</li> <li>• Rekomendasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potret Penghematan Energi</li> <li>• Rekomendasi (<i>No, Low, Medium, dan High Cost</i>)</li> <li>• Prioritas</li> <li>• Studi Kelayakan</li> <li>• Jadwal Implementasi</li> </ul>

## 1.5. RUANG LINGKUP

Jenis atau tingkat (*level*) audit energi yang dimaksudkan di dalam buku ini - mengikuti terminologi di dalam SNI-6196-2011 - adalah audit energi rinci (*detail energy audit*). Hal ini sengaja dipilih dengan pertimbangan bahwa audit energi rinci adalah jenis atau tingkat yang terakhir atau “tertinggi”. Dengan memahami dan dapat melakukan audit energi rinci maka pembaca diharapkan dapat pula melakukan

2 jenis atau tingkat audit energi lainnya - yang tingkatnya di bawah audit energi rinci - yakni audit energi singkat dan awal.

Dengan pemilihan jenis audit energi rinci maka sesuai Gambar 1-4 dan Tabel 1-3, ruang lingkup kegiatannya meliputi: 1) persiapan, 2) pengumpulan data, 3) analisis, 4) pembahasan sementara hasil audit, dan 5) laporan.

## 1.6. SISTEMATIKA PENYAJIAN

Buku ini disajikan dalam **9 pokok bahasan** yang berada pada **Bab 2 sampai dengan Bab 10**, dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 1-4.

Tabel 1-4  
Rincian 9 pokok bahasan

Bab	Judul	Isi
2	Audit Energi di Industri: Perencanaan dan Pelaksanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menguraikan perencanaan hingga pelaksanaan audit energi di industri;</li> <li>• Merangkum kegiatan dan analisis dari komponen-komponen peralatan dan/atau sistem yang diaudit di industri.</li> </ul> <p>Bab ini lebih ditujukan kepada para (calon) koordinator atau manajer tim audit energi di industri.</p> <p>Sedangkan untuk pengauditan energi pada sistem kelistrikan, misalnya, maka auditor diharapkan berpedoman pada Bab 3. Demikian seterusnya.</p>
3	Audit Energi di Industri: Sistem Kelistrikan	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus sistem kelistrikan.
4	Audit Energi di Industri: Sistem Pembangkit Uap (Boiler)	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem pembangkit uap atau boiler/ketel.
5	Audit Energi di Industri: Sistem Diesel-Generator	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem diesel-generator.
6	Audit Energi di Industri: Sistem Distribusi Uap	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem distribusi uap.
7	Audit Energi di Industri: Sistem Integrasi Proses	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem peralatan proses.
8	Audit Energi di Industri: Sistem <i>Chiller</i>	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem <i>Chiller</i> .
9	Audit Energi di Industri: Sistem Pompa	Menguraikan secara spesifik dan rinci pelaksanaan audit energi di industri, khusus pada sistem pompa.
10	Audit Energi di Industri: Sistem Manajemen Energi	Menguraikan secara spesifik dan rinci penerapan sistem manajemen energi.

## ***Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?***

Untuk menjawab pertanyaan di atas mari kita bayangkan atau misalkan bahwa kegiatan audit energi akan dilaksanakan di sebuah pabrik yang mengolah bahan baku menjadi barang jadi. Pabrik tersebut sudah barang tentu memiliki peralatan-peralatan proses yang bertugas mengolah bahan baku menjadi produk yang diinginkan, sekaligus juga membutuhkan energi, dan peralatan utilitas yang bertugas menyediakan energi. Dalam operasionalnya pabrik ini menggunakan 2 jenis sumber energi: panas atau termal (melalui uap) dan listrik.

Sedangkan kita, misalnya, adalah satu tim dari suatu perusahaan konsultan di bidang audit energi. Maka satu tim yang akan ditugaskan melakukan audit energi di pabrik tersebut atau lazim disebut dengan tim auditor energi dibagi menjadi sub-subtim, yaitu:

a. Subtim Sistem Kelistrikan

Subtim ini akan melakukan audit energi mulai dari titik *incoming* atau titik masuknya energi listrik ke dalam pabrik - baik berasal dari pembangkitan sendiri maupun dari luar (PT PLN Persero atau swasta) - hingga dikonsumsi oleh peralatan-peralatan pabrik.

b. Subtim Sistem Pembangkitan Uap (Boiler)

Subtim ini akan melakukan audit energi yang difokuskan pada sistem pembangkitan uap atau disebut juga boiler atau ketel beserta kelengkapannya.

c. Subtim Diesel-Generator

Subtim ini akan melakukan audit energi pada peralatan diesel-generator beserta kelengkapannya.

d. Subtim Sistem Distribusi Uap

Subtim ini akan melakukan audit energi mulai dari titik keluarnya uap (dari boiler) hingga titik keluar kondensat pada peralatan-peralatan pengguna uap beserta jaringan distribusi dan kelengkapannya.

e. Subtim Sistem Integrasi Proses

Subtim ini akan melakukan audit energi pada peralatan proses produksi yang mengkonsumsi energi relatif besar dengan tinjauan mulai dari bahan baku hingga barang jadi atau produk.

f. Subtim Sistem *Chiller*

Subtim ini akan melakukan audit energi pada peralatan *chiller* beserta kelengkapannya

g. Subtim Sistem Pompa

Subtim ini akan melakukan audit energi pada peralatan pompa beserta kelengkapannya.

h. Subtim Sistem Manajemen Energi

Subtim ini akan melakukan kajian atas penerapan sistem manajemen energi.

Sub-subtim tersebut di atas dipimpin oleh seorang koordinator atau manajer tim.

Dengan melihat pembagian tim menjadi sub-subtim tersebut di atas maka akan jelas bagaimana pemakaian buku ini, yaitu:

- Bab 2 dijadikan pegangan bagi Koordinator atau Manajer Tim. Melalui bab ini seorang koordinator atau manajer tim akan diberikan pedoman dalam menjalankan tugasnya, mulai dari persiapan hingga pelaksanaan termasuk penyelesaiannya;
- Bab 3 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Kelistrikan;
- Bab 4 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Boiler;
- Bab 5 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Diesel-Generator;
- Bab 6 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Distribusi Uap;
- Bab 7 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Integrasi Proses;
- Bab 8 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem *Chiller*;
- Bab 9 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Pompa;
- Bab 10 dijadikan pegangan bagi Subtim Sistem Manajemen Energi.

Adakalanya audit energi tidak dilakukan secara menyeluruh. Misalnya, pabrik tersebut di atas hanya menginginkan audit energi pada sistem kelistrikannya saja. Maka cukup dibentuk satu tim kecil auditor di bidang kelistrikan.

Dalam melaksanakan kegiatannya tim kecil tersebut berpedoman pada Bab 3, yakni audit energi pada sistem kelistrikan. Namun demikian tim kecil tersebut juga perlu membaca Bab 2 guna melengkapi pelaksanaan kegiatannya.

Demikian halnya bila, misalnya lagi, pabrik tersebut hanya ingin diaudit pada sistem boilernya saja. Maka dibentuk tim kecil di bidang boiler. Dalam melaksanakan kegiatannya tim kecil tersebut berpedoman pada Bab 4, yakni audit energi pada sistem boiler. Selain itu tim kecil juga perlu membaca Bab 2.

Dengan uraian di atas maka jelas bahwa buku ini dapat digunakan untuk melakukan audit energi secara keseluruhan dalam suatu pabrik/industri atau audit energi secara sebagian saja, baik pada sistem maupun peralatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Handbook of Energy Economic Statistics of Indonesia 2013*. Pusat Data dan Informasi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] *Instruksi Presiden Republik Indonesia, Nomor 9 Tahun 1982, tentang Konservasi Energi*. Jakarta, 07 April 1982.
- [3] *Instruksi Presiden Republik Indonesia, Nomor 10 Tahun 2005, tentang Penghematan Energi*. Jakarta, 10 Juli 2005.
- [4] *Instruksi Presiden Republik Indonesia, Nomor 2 Tahun 2008, tentang Penghematan Energi dan Air*. Jakarta, 05 Mei 2008.
- [5] *Instruksi Presiden Republik Indonesia, Nomor 13 Tahun 2011, tentang Penghematan Air dan Energi*. Jakarta, 11 Agustus 2011.
- [6] *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia, Nomor 0002 Tahun 2004, tentang Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau)*. Jakarta, 02 Januari 2004.
- [7] *Keputusan Menteri ESDM RI, Nomor 4051 K/07/MEM/2013, tentang Catur Dharma Energi*. Jakarta, 27 Desember 2013
- [8] *Keputusan Presiden Republik Indonesia, Nomor 46 Tahun 1980, tentang Badan Koordinasi Energi Nasional*. Jakarta, 04 Agustus 1980.  
  
{Catatan: Keppres Nomor 46 Tahun 1980 ini telah 4 kali diubah dengan 1) Keppres Nomor 75 Tahun 1980, 2) Keppres Nomor 75 Tahun 1984 (29 Desember 1984), 3) Keppres Nomor 2 Tahun 1999 (07 Januari 1999), dan 4) Keppres Nomor 23 Tahun 2000 (23 Februari 2000)}.
- [9] *Keputusan Presiden Republik Indonesia, Nomor 43 Tahun 1991, tentang Konservasi Energi*. Jakarta, 25 September 1991.
- [10] *Masterplan Konservasi Energi Nasional Tahun 1995*. Jakarta, 1995. (Catatan: *Masterplan* ini direvisi pada tahun 2005).
- [11] *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral ESDM, Nomor 13 Tahun 2012, tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik*. Jakarta, 30 Mei 2012.
- [12] *Peraturan Menteri ESDM, Nomor 14 Tahun 2012, tentang Manajemen Energi*. Jakarta, 30 Mei 2012.
- [13] *Peraturan Menteri ESDM, Nomor 15 Tahun 2012, tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah*. Jakarta, 30 Mei 2012.
- [14] *Peraturan Menteri ESDM, Nomor 1 Tahun 2013, tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak*. Jakarta, 02 Januari 2013.

- [15] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, Nomor 70 Tahun 2009, tentang Konservasi Energi*. Jakarta, 16 November 2009.
- [16] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, Nomor 79 Tahun 2014, tentang Kebijakan Energi Nasional*. Jakarta, 17 Oktober 2014.
- [17] *Peraturan Presiden Republik Indonesia, Nomor 5 Tahun 2006, tentang Kebijakan Energi Nasional*. Jakarta, 25 Januari 2006.
- [18] *Peraturan Presiden Republik Indonesia, Nomor 26 Tahun 2008, tentang Pembentukan Dewan Energi Nasional dan Tata Cara Penyaringan Calon Anggota Dewan Energi Nasional*. Jakarta, 07 Mei 2008.
- [19] *Peraturan Presiden Republik Indonesia, Nomor 61 Tahun 2011, tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca*. Jakarta, 20 September 2011.
- [20] *SNI 6196:2011 Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*. 2011. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- [21] *Undang-Undang RI (UU) Nomor 28 tahun 2002, tentang Bangunan Gedung*. Jakarta, 16 Desember 2002.
- [22] *Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi*. Jakarta, 10 Agustus 2007.

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN

Nur Rachman Iskandar

**U**raian pada bab ini meliputi perencanaan dan pelaksanaan audit energi rinci di industri. Atau dengan kata lain audit energi rinci dari mulai tahap awal hingga selesai. Untuk selanjutnya di dalam buku ini audit energi rinci disebut dengan audit energi.

Yang dimaksud dengan perencanaan di sini adalah kegiatan yang bertumpu kepada komunikasi awal antara pihak auditor energi dengan pemilik/pengelola industri dalam mewujudkan audit energi. Komunikasi ini berupa penawaran atau penerimaan jasa audit energi. Berdasarkan hasil komunikasi awal ini selanjutnya direncanakan kegiatan audit energi.

Sedangkan yang dimaksud dengan pelaksanaan adalah kegiatan yang meliputi persiapan hingga selesainya kegiatan audit energi.

Pada pelaksanaannya, audit energi dapat dilakukan dengan 2 pendekatan. **Pertama**, audit energi dilakukan oleh pihak luar atau auditor energi eksternal. Jika industri atau pabrik tersebut belum memiliki tim audit energi sendiri, maka audit energi dilakukan oleh pihak luar atau eksternal. Pihak luar tersebut misalnya perguruan tinggi, lembaga penelitian, atau perusahaan konsultan.

Jika pihak luar yang melakukannya, maka terdapat 5 tahap kegiatan yang perlu dilakukan, yaitu tahap-tahap: (1) komunikasi awal, (2) persiapan, (3) pengumpulan data, (4) analisis, dan (5) penyusunan laporan. Kelima tahapan ini dapat lebih mudah dipahami dengan memperhatikan diagram alir kegiatan pada Gambar 2-1A.

**Kedua**, audit energi dilakukan oleh tim audit energi sendiri atau auditor energi internal. Jika industri atau pabrik tersebut telah memiliki organisasi manajemen energi, termasuk memiliki tim audit energi, maka audit energi dapat dilakukan

sendiri tanpa bantuan dari pihak luar. Untuk melaksanakannya, 5 tahapan tersebut di atas sedikit dimodifikasi.

Tahapan nomor (1) yaitu komunikasi awal tidak diperlukan. Hal ini dikarenakan pihak pengelola industri memang sudah memutuskan untuk dilaksanakannya audit energi. Dan, pelaksana audit energinya adalah tim auditor energi di pabrik itu sendiri yang merupakan bagian dari organisasi manajemen energi. Dengan demikian hanya 4 tahapan yang perlu dilakukan, yakni tahap nomor (2) sampai dengan (5). Keempat tahapan tersebut - dengan sedikit modifikasi pula - dapat dilihat melalui diagram alir kegiatan pada Gambar 2-1B.

Selanjutnya terdapat hal penting yang patut diingat, yakni ketentuan tentang seseorang yang akan melakukan audit energi. Sesuai dengan ketentuan di dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, maka pelaksanaan audit energi, baik pada pendekatan pertama maupun kedua sebagaimana disebutkan di atas, dilakukan oleh auditor energi yang bersertifikat. Dengan demikian, baik auditor energi yang dimiliki oleh pabrik maupun auditor energi dari pihak luar harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditetapkan di dalam PP Nomor 70 Tahun 2009, yaitu telah memiliki sertifikat sebagai auditor energi.

## **2.1. TAHAP KOMUNIKASI AWAL**

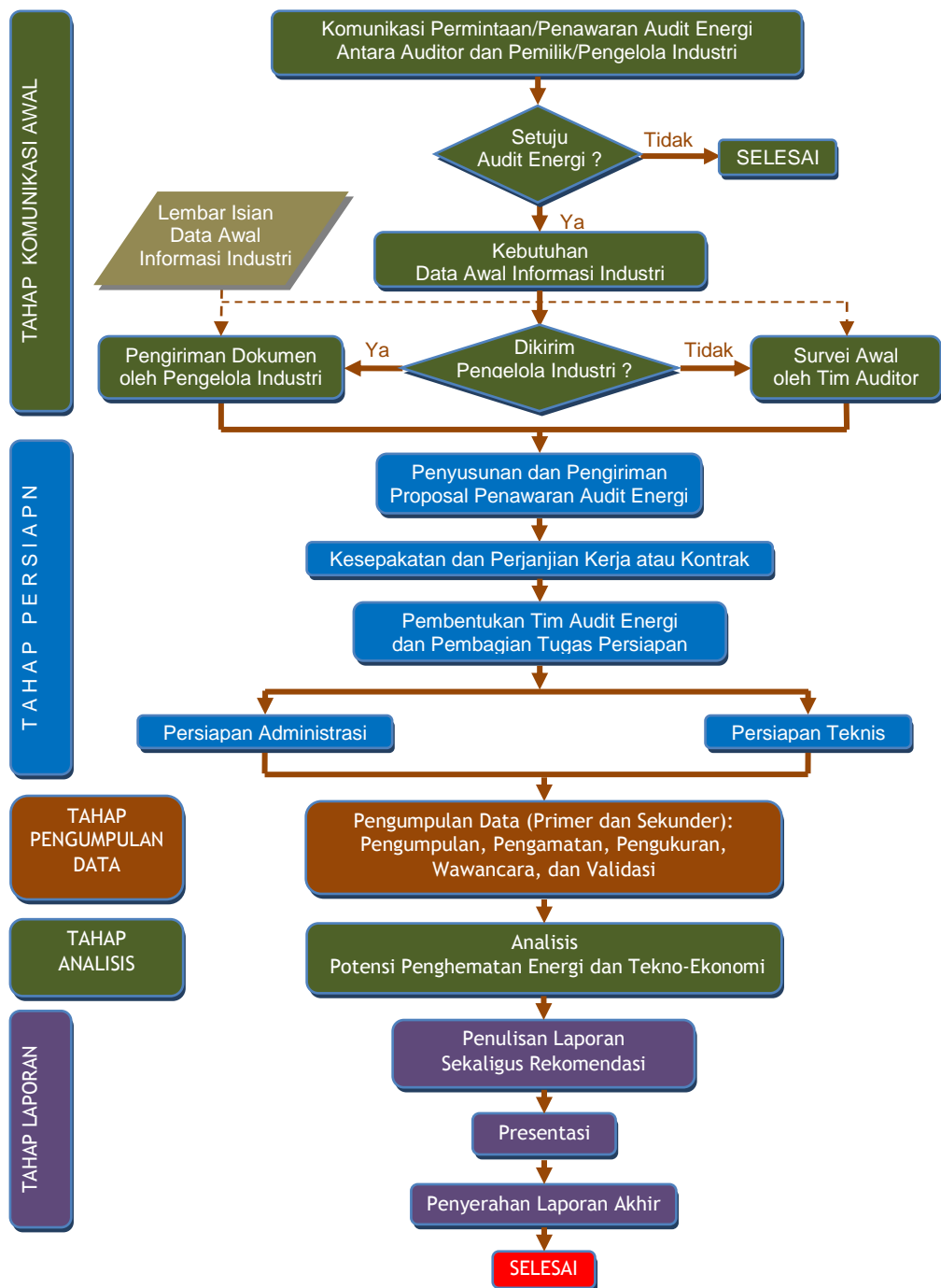
Mengacu kepada Gambar 2-1A, untuk mewujudkan audit energi maka kegiatannya dimulai dari tahap nomor (1), yaitu tahap komunikasi awal. Pada tahap ini pihak penyedia jasa layanan audit energi berkomunikasi dengan pihak pemilik/pengelola industri.

Apabila pihak penyedia jasa layanan audit energi yang memulai komunikasinya, maka statusnya adalah penawaran jasa audit energi. Sebaliknya, apabila pihak pengelola industri yang memulai komunikasinya, maka statusnya adalah permintaan jasa audit energi.

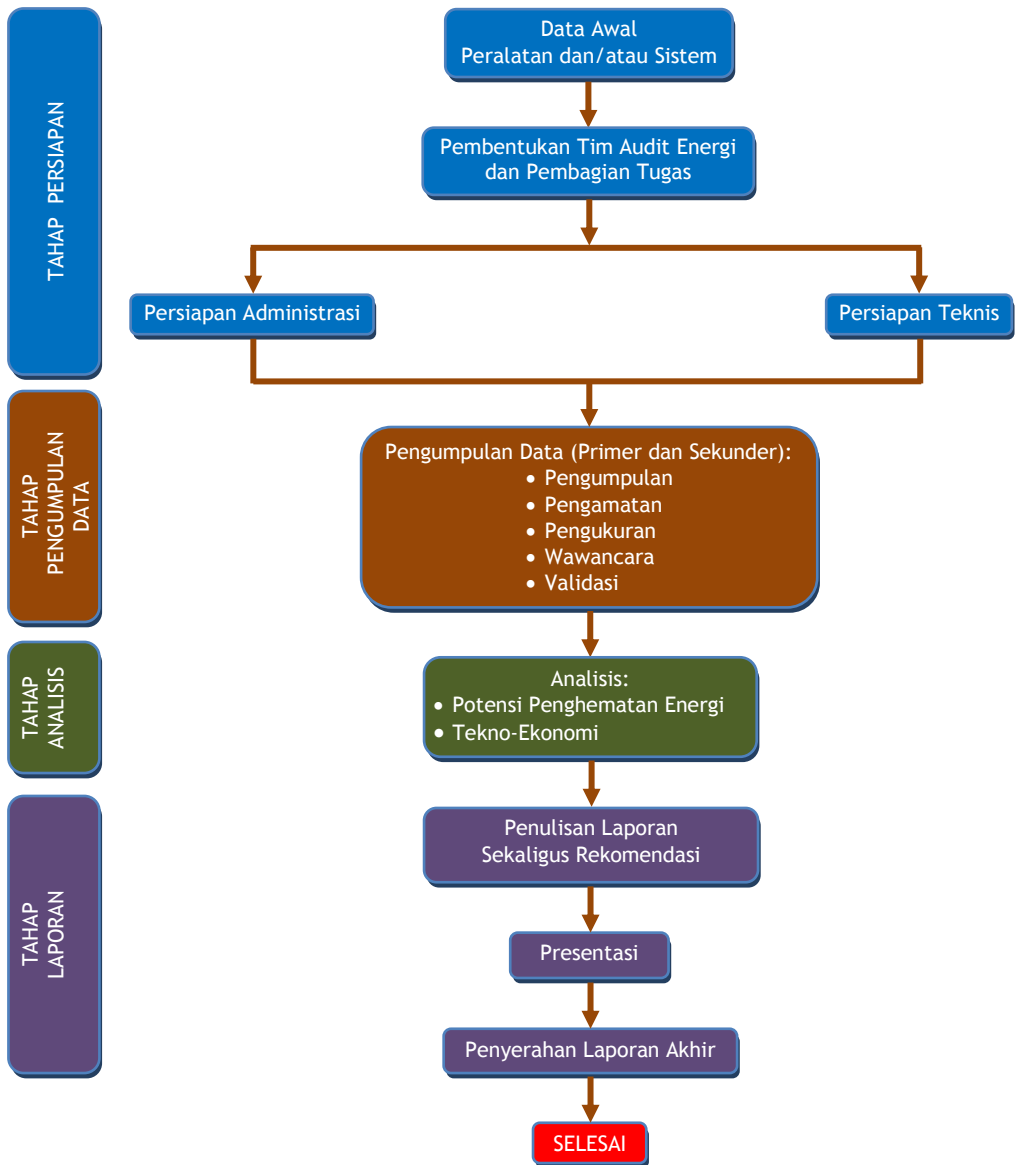
### **2.1.1. Penawaran Jasa Audit Energi**

Pihak penyedia jasa layanan audit energi memulai komunikasi untuk menawarkan jasa audit energi ke pihak industri. Dalam penawaran ini pihak penyedia jasa layanan audit energi mesti piawai dalam menjelaskannya. Hal ini dikarenakan “masih banyak” pengelola industri atau anggota masyarakat kita yang belum memahami secara utuh pengertian audit energi. Padahal program konservasi energi - yang di dalamnya termasuk kegiatan audit energi - di negara kita telah digulirkan oleh pemerintah sejak tahun 1980-an. Masih banyak industri kita yang “merasa takut atau khawatir” dengan audit energi.





Gambar 2-1A. Diagram tahapan pelaksanaan audit energi rinci di industri atau pabrik. (Diagram bagi auditor energi eksternal atau yang berasal dari suatu institusi atau perusahaan konsultan).



Gambar 2-1B. Diagram tahapan pelaksanaan audit energi rinci di industri atau pabrik.  
(Diagram bagi auditor yang berasal dari internal industri atau pabrik).

Hal penting yang perlu disampaikan kepada pihak industri yang belum memahami secara utuh audit energi adalah:

- a. Audit energi bertujuan untuk membantu industri dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energinya. Atau dengan kata lain, industri akan dibantu dalam mendapatkan kemungkinan masih terjadinya keborosan dalam menggunakan energinya. Selanjutnya industri akan diberikan saran-saran untuk melaksanakan langkah-langkah untuk mengurangi semaksimal mungkin keborosan energinya;
- b. Terkait dengan butir a di atas, audit energi berpotensi untuk menurunkan biaya energi namun tanpa mengurangi produktivitas pabrik;
- c. Pada saat pelaksanaan pengukuran di pabrik dengan pemasangan alat-alat ukur, pabrik tidak akan terganggu proses produksinya. Jadi pabrik tidak perlu menghentikan operasi (mematikan) satu atau lebih mesin produksinya pada saat pengukuran berlangsung;
- d. Industri juga akan dibantu dalam menyiapkan hingga menerapkan sistem manajemen energi.

Dalam komunikasi ini diusahakan agar pihak industri bersedia untuk dikunjungi. Dengan demikian penjelasan dan/atau presentasi tentang audit energi dapat disajikan secara komprehensif dan langsung.

### **2.1.2. Permintaan Jasa Audit Energi**

Manakala pada tahap komunikasi awal justru pihak industri yang memulai komunikasinya dan meminta untuk dilakukan audit energi, maka seperti halnya pada butir 2.1.1, tim auditor energi segera menjawab permintaan tersebut disertai permintaan untuk berkunjung ke industri tersebut guna mendiskusikannya lebih lanjut.

### **2.1.3. Kebutuhan Data Awal Informasi Industri**

Data awal informasi industri sangat diperlukan apabila audit energi dilaksanakan oleh tim eksternal atau pihak penyedia layanan jasa audit energi. Data awal ini diperlukan antara lain untuk memperkirakan volume pekerjaan, yang akan dituangkan di dalam proposal penawaran audit energi kepada pemilik atau pengelola industri. Selain itu juga akan digunakan dalam penyusunan tim audit energi.

Pada butir 2.1.1 dan 2.1.2 disebutkan bahwa pihak penyedia layanan jasa audit energi sedapat mungkin melakukan kunjungan ke industri yang akan diaudit energinya. Pada kesempatan kunjungan ini dapat sekaligus dimanfaatkan untuk dilakukan survei awal atau tinjauan lapangan guna mendapatkan data awal informasi industri.

Jenis data awal informasi industri yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 2-1. Selanjutnya Tabel 2-1 “diterjemahkan” menjadi Lembar Isian Data Awal Informasi Industri di Lampiran 1-1.

Tabel 2-1  
Data awal informasi industri yang dibutuhkan

Bidang	Data Awal Informasi Industri
Informasi Umum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nama Industri atau Pabrik</li> <li>• Lokasi (alamat) pabrik;</li> <li>• Produk dan kapasitas produksi (terpasang dan kenyataan)</li> <li>• Diagram alir proses (<i>flowsheet</i>);</li> </ul>
Sistem Kelistrikan	<ol style="list-style-type: none"> <li>Listriik dari PT PLN (Persero): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daya terpasang (kontrak daya);</li> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing trafo;</li> </ul> </li> <li>Listriik pembangkitan sendiri: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing turbin alternator (generator);</li> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing diesel generator;</li> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing trafo;</li> </ul> </li> <li>Listriik gabungan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagram listrik satu garis (<i>single line diagram</i>);</li> <li>• Jumlah dan jenis panel-panel distribusi.</li> </ul> </li> </ol>
Peralatan proses utama	Jenis, jumlah, dan kapasitas mesin-mesin proses utama (misal: reaktor, evaporator, <i>crystallizer</i> , <i>dryer</i> , <i>chiller</i> , dan sebagainya).
Peralatan Utilitas	<ol style="list-style-type: none"> <li>Boiler: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing boiler;</li> <li>• Bahan bakar.</li> </ul> </li> <li>Turbin-Uap Alternator: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing.</li> </ul> </li> <li>Diesel-Generator: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing.</li> </ul> </li> <li>Pompa (besar): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah dan kapasitas masing-masing.</li> </ul> </li> </ol>

Untuk itu pada saat kunjungan ke industri tersebut di atas Tim sekaligus membawa serta Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (Lampiran 1-1) untuk langsung diisi sendiri.

Para auditor yang turut serta dalam kunjungan ini dapat melakukan observasi kondisi lapangan secara langsung. Dengan demikian data awal informasi industri yang diperoleh tidak terbatas pada data yang terdapat pada Lembar Isian Data Awal Informasi Industri saja melainkan dapat lebih lengkap atau diperkaya.

Kesempatan survei awal ini dapat pula dimanfaatkan untuk mendapatkan foto-foto pabrik dan peralatan/sistem serta salinan atau *copy* dokumen. Selain itu juga

dapat dilakukan wawancara yang lebih mendalam, baik kepada pihak manajemen maupun operator peralatan. Hal yang tidak kalah pentingnya adalah kesempatan untuk kemungkinan mendapatkan data sekunder atau data historis, meliputi:

- Rekening listrik dari PT PLN (Persero) selama 3 tahun terakhir;
- Data konsumsi energi listrik dari pembangkitan sendiri selama 3 tahun terakhir;
- Serial data produksi selama 3 tahun terakhir;
- Program manajemen atau konservasi energi yang telah dan akan dilaksanakan berikut catatan pencapaiannya.

Empat jenis data itu sebenarnya ditargetkan untuk diperoleh pada tahap pelaksanaan, yaitu pada saat pengukuran data primer dan sekunder (butir 2.3.2). Namun demikian sekiranya dapat diperoleh pada saat survei awal akan memperkaya pemahaman para auditor energi terhadap industri atau pabrik yang akan diauditnya.

Ada kemungkinan setelah selesai penjelasan atau presentasi dan pihak industri setuju untuk dilakukan audit energi, namun tidak tersedia cukup waktu untuk mendapatkan data awal informasi industri termasuk tinjauan lapangan. Untuk itu segera dikonsultasikan kepada pihak industri tersebut untuk secepatnya dapat dilakukan kunjungan berikutnya guna survei awal seperti tersebut di atas.

Kunjungan atau survei awal seperti tersebut di atas kadang tidak dapat dilakukan. Untuk kondisi seperti ini pihak industri diharapkan dapat mengirimkan data awal itu melalui sarana pengiriman, misalnya surat elektronik (*e-mail*), faksimili, atau yang lainnya. Untuk itu tim auditor energi terlebih dahulu mengirimkan Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (Lampiran 1-1) kepada pihak industri. Dengan begitu akan memudahkan pihak industri sekaligus juga data yang nanti diterima akan sesuai dengan yang diharapkan.

## **2.2. TAHAP PERSIAPAN**

Mengacu pada Gambar 2-1A, hal-hal yang tercakup dalam tahap persiapan audit energi terdiri atas:

1. Penyusunan dan pengiriman proposal penawaran audit energi;
2. Kesepakatan dan perjanjian kerja atau kontrak;
3. Pembentukan tim audit energi dan pembagian tugas persiapan;
4. Persiapan administrasi dan teknis;
5. Persiapan dan pengarahan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3);
6. Mobilisasi Personil dan Peralatan.

### **2.2.1. Penyusunan dan Pengiriman Proposal Penawaran Audit Energi**

#### **2.2.1.1. Identifikasi Peralatan atau Sistem dan Personil**

Sebuah tim kecil dan/atau calon manajer tim segera ditunjuk untuk mempelajari dan menganalisis data awal informasi industri yang sudah diperoleh. Tujuan

utamanya adalah untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah peralatan atau sistem di pabrik yang akan diaudit energinya.

Misalnya data awal informasi industri yang diperoleh adalah sebagai berikut:

A. Informasi Umum

1. Nama Pabrik/Perusahaan : PT “ABCD”
2. Alamat Pabrik : Jl. X, Kota Z
3. Produk : XYZ
4. Kapasitas Produksi : 6.000 ton per hari
5. Diagram Alir Proses : Terlampir

B. Sistem Kelistrikan

1. Listrik Dari PT PLN
  - a. Kontrak Daya : (ABCD) MW
  - b. Transformator (Trafo) : 5 unit, masing-masing (ABC) MVA
2. Listrik Pembangkitan Sendiri
  - a. Diesel Generator : 2 unit, masing-masing (GHI) kVA
  - b. Transformator : 2 unit, masing-masing (JKL) kVA
3. Panel Distribusi : (X) unit, terdiri atas (Y) unit MVDP (*medium voltage distribution panel*) dan (Z) unit LVDP (*low voltage distribution panel*).

C. Peralatan Proses Utama

1. Reaktor : 3 unit
2. Evaporator : 8 unit (sistem 5 efek atau *quintuple effect*)
3. *Dryer* : 3 unit
4. *Crystallizer* : 3 unit
5. *Chiller* : 2 unit

D. Peralatan Pendukung (Utilitas)

1. Boiler : 3 unit, masing-masing 60 ton uap/jam
2. Transformator : Lihat di atas
3. Panel Listrik : Lihat di atas

E. Catatan Tambahan

- Dalam melaksanakan kegiatan proses produksinya dimanfaatkan 2 jenis energi: termal dan listrik secara berbarengan;
- Energi termal berasal dari uap (*steam*) dan gas buang (*exhaust gas*);

Catatan : Huruf-huruf di dalam kurung di atas, misal (ABCD) kW, (ABC) kVA, (DEF) kVA dan lain-lainnya dimaksudkan adalah suatu angka.

Berdasarkan data awal informasi industri tersebut diperoleh informasi utama untuk penyusunan proposal, yaitu:

1. Peralatan dan/atau sistem yang akan diaudit energinya adalah:

- a) sistem kelistrikan keseluruhan,
- b) boiler (3 unit),
- c) diesel-generator (2 unit),
- d) sistem distribusi uap,
- e) sistem integrasi proses,
- f) sistem *chiller*,
- g) sistem pompa, dan
- h) sistem manajemen energi.

2. Kualifikasi personil/auditor yang dibutuhkan:

- a) Ahli kelistrikan dan asisten,
- b) Ahli boiler dan asisten,
- c) Ahli diesel-generator,
- d) Ahli sistem distribusi uap,
- e) Ahli sistem integrasi proses,
- f) Ahli sistem *chiller*,
- g) Ahli sistem pompa,
- h) Ahli sistem manajemen energi, dan
- i) Manajer atau Koordinator Tim

### 2.2.1.2. Estimasi Waktu dan Biaya

Hasil identifikasi alat dan personil tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan estimasi waktu dan biaya. Sebuah tabel jadwal kegiatan dapat disusun sebagai alat bantu dalam mengestimasi. Contoh tabulasi kegiatan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 2-2.

Dari Tabel 2-2 dapat dilihat bahwa total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan audit energi keseluruhan pabrik adalah 7 minggu. Dan jumlah personilnya sekitar 16 orang.

Dengan mengacu tabel tersebut maka dapat diestimasi jumlah orang-hari atau *man-days*-nya. Selain itu komponen lainnya, misal biaya pemakaian dan/atau sewa alat ukur juga perlu diperhitungkan. Selanjutnya dapat dihitung biaya total yang dibutuhkan untuk mengerjakan audit energi itu.

Tabel 2-2  
Contoh jadwal rinci audit energi di industri

No	Kegiatan	Durasi,	Personil	Minggu ke-						
		[hari]	[orang]	1	2	3	4	5	6	7
1.	Komunikasi awal	2	1							
2.	Persiapan:									
2.1.	Pengumpulan data awal (melalui jasa pengiriman atau Survei Awal Tim Auditor)	1	2							
2.2.	Penyusunan, penyampaian, dan kesepakatan proposal penawaran audit energi	5	3							
2.3.	Penyusunan Tim Audit Energi, penyusunan jadwal rinci, persiapan peralatan, serta mobilisasi personil dan peralatan	3	11							
3.	Pengumpulan data primer dan sekunder (Dilaksanakan melalui pengukuran secara sinambung atau <i>on-line</i> dan manual sekaligus validasi data):									
3.1.	Sistem Kelistrikan	5	3							
3.2.	Sistem Boiler	7	3							
3.3.	Sistem Diesel-Generator	2	1							
3.4.	Sistem Distribusi Uap	4	1							
3.5.	Sistem Integrasi Proses	4	1							
3.6.	Sistem <i>Chiller</i>	4	1							
3.7.	Sistem Pompa	4	1							
3.8.	Sistem Manajemen Energi	3	1							
4.	Evaluasi dan Analisis Data									
4.1.	Sistem Kelistrikan	5	2							
4.2.	Sistem Boiler	5	2							
4.3.	Sistem Diesel-Generator	5	1							
4.4.	Sistem Distribusi Uap	5	1							
4.5.	Sistem Integrasi Proses	5	1							
4.6.	Sistem <i>Chiller</i>	5	1							
4.7.	Sistem Pompa	5	1							
4.8.	Sistem Manajemen Energi	5	1							
5.	Penyusunan Laporan	7	8							
6.	Presentasi Laporan Akhir	1	8							
7.	Koordinasi Manajemen	12	1							

### 2.2.1.3. Penyusunan dan Pengiriman Proposal

Proposal audit energi sekurang-kurangnya memuat beberapa hal, yaitu latar belakang penawaran, tujuan kegiatan, keluaran atau hasil yang akan disampaikan, metodologi kegiatan, jumlah dan kualifikasi personil/auditor yang akan melakukan, serta waktu dan biaya yang dibutuhkan.

Proposal secepatnya dikirimkan kepada pemilik atau pengelola industri.



### 2.2.2. Kesepakatan dan Perjanjian Kerja atau Kontrak

Apabila **TERJADI KESEPAKATAN** (= SETUJU) antara Pihak Auditor dengan Pemilik dan/atau Pengelola Industri, maka kegiatan dilanjutkan dengan Pembentukan Tim Audit Energi (Subbab 2.2.3).

Apabila **TIDAK TERJADI KESEPAKATAN** (= TIDAK SETUJU) antara Pihak Auditor dengan Pemilik dan/atau Pengelola Industri, maka kegiatan audit energi tidak dapat dilanjutkan.

Di dalam bab atau buku ini diasumsikan **TERJADI KESEPAKATAN**, dengan demikian proses berlanjut dengan kegiatan-kegiatan berikutnya.

### 2.2.3. Pembentukan Tim Audit Energi dan Pembagian Tugas

Persiapan berikutnya setelah terjadi kesepakatan pelaksanaan audit energi adalah pembentukan tim audit energi serta pembagian tugasnya. Jumlah tim - termasuk anggotanya - dan beban tugasnya disesuaikan dengan beban pekerjaan sesuai dengan informasi yang diperoleh dari Data Awal Informasi Industri.

#### 2.2.3.1. Pembentukan Tim Audit Energi

Tim kecil dan Calon Manajer Tim sebagaimana disebut pada butir 2.2.1.1 menyusun Tim Audit Energi. Susunan tim audit energi mengacu kepada hasil pembahasan dan analisis awal yang telah dituangkan di dalam Tabel 2-2.

Berdasarkan Tabel 2-2 terdapat 8 sistem yang akan dikaji atau diaudit, yaitu sistem-sistem: (1) kelistrikan, (2) boiler, (3) diesel generator, (4) distribusi uap, (5) integrasi proses, (6) *chiller*, (7) pompa, dan (8) manajemen energi.

Untuk itu dibentuk 8 subtim (teknis) dan 1 subtim (non-teknis) yang bertugas menyelesaikan laporan. Kesembilan subtim ini dipimpin oleh seorang koordinator atau manajer tim. Pada contoh ini, Manajer Tim merangkap sebagai auditor pada sistem manajemen energi.

Contoh susunan tim dapat dilihat pada Tabel 2-3, sedangkan kualifikasi masing-masing personil dapat dilihat pada Tabel 2-4.

Tabel 2-3  
Contoh Susunan Tim Audit Energi

No	Subtim/Kegiatan	Personil/Penanggung-jawab	Jumlah [orang]
1.	Koordinasi Kegiatan Keseluruhan	Manajer Tim	1
2.	Sistem Kelistrikan	Koordinator Subtim Sistem Kelistrikan (Ahli Sistem kelistrikan)	1
		Teknisi Sistem Kelistrikan	2
3.	Sistem Pembangkit Uap (Boiler)	Koordinator Subtim Sistem Pembangkit Uap (Ahli Pembangkit Uap atau Boiler)	1
		Teknisi Sistem Pembangkit Uap	2
4.	Sistem Diesel-Generator	Ahli Sistem Diesel Generator	1
5.	Sistem Distribusi Uap	Ahli Sistem Distribusi Uap	1
6.	Sistem Integrasi Proses	Ahli Sistem Integrasi Proses	1
7.	Sistem <i>Chiller</i>	Ahli Sistem <i>Chiller</i>	1
8.	Sistem Pompa	Ahli Sistem Pompa	1
9.	Sistem Manajemen Energi	Ahli Manajemen Energi *)	1
10.	Penyusunan Laporan Gabungan	Koordinator Penyusunan Laporan Gabungan **)	1
		Penyusun Laporan	2

Catatan: \*) Ahli Manajemen Energi dapat dirangkap oleh Manajer Tim

\*\*) Penyusun Laporan Gabungan sebaiknya ada yang merangkap sebagai koordinator subtim audit energi dan/atau anggota subtim audit energi.

Tabel 2-4  
Kualifikasi Anggota Tim Audit Energi

No	Jabatan	Pengalaman Miminum di Bidangnya [tahun]
1.	Manajer Tim	*)
2.	Ahli Sistem Kelistrikan	*)
3.	Ahli Sistem Pembangkit Uap (Boiler)	*)
4.	Ahli Sistem Diesel Generator	*)
5.	Ahli Sistem Distribusi Uap	*)
6.	Ahli Sistem Integrasi Proses	*)
7.	Ahli Sistem <i>Chiller</i>	*)
8.	Ahli Sistem Pompa	*)
9.	Ahli Manajemen Energi	*)
10.	Teknisi Sistem Kelistrikan	*)
11.	Teknisi Sistem Pembangkit Uap (Boiler)	*)
12.	Penyusun Laporan	*)

Catatan: \*) Disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku.

### 2.2.3.2. Pembagian Tugas

Dari susunan tim sebagaimana tertera pada Tabel 2-3 selanjutnya dijabarkan uraian tugasnya masing-masing.

#### A. Manajer Tim (Merangkap Ahli Manajemen Energi)

Manajer Tim bertugas:

- a). Memimpin rapat internal untuk persiapan peralatan serta pengukuran data primer/sekunder di industri yang akan diaudit. Jadwal rinci pada Tabel 2-2 selanjutnya dibicarakan dan dibagikan kepada segenap Anggota Tim;
- b). Memberikan arahan atau instruksi kepada semua Subtim agar melaksanakan tugas sesuai dengan bidangnya masing-masing;
- c). Berkoordinasi dengan Personil yang mewakili Pemilik atau Pengelola industri mengenai waktu keberangkatan Tim menuju industri yang akan diaudit;
- d). Mempersiapkan kebutuhan administrasi Tim yang akan berangkat menuju industri yang akan diaudit, meliputi:
  - d.1). Mobilisasi personil beserta peralatan ukurnya;
  - d.2). Tiket pergi dan pulang atau kendaraan beserta biaya operasional yang akan digunakan dalam mobilisasi butir d.1 dan selama berada di industri yang akan diaudit;
  - d.3). Dokumen pengeluaran barang termasuk peralatan ukur yang akan digunakan;
  - d.4). Surat-surat lainnya yang dibutuhkan;
- e). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Manajemen Energi (lihat Lampiran 1-2) yang akan diisi pada saat pengumpulan data;
- f). Menyusun/menulis laporan (Bab 1: Pendahuluan);
- g). Memimpin presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### B. Subtim Sistem Kelistrikan

Dengan dibantu oleh Teknisi Sistem Kelistrikan, Koordinator Subtim Sistem Kelistrikan bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem kelistrikan. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Kelistrikan (lihat Lampiran 1-3) dan diserahkan kepada Teknisi Sistem Kelistrikan;
- c). Memberikan pengarahan kepada Teknisi Sistem Kelistrikan berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem kelistrikan di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Kelistrikan; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri;

- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Kelistrikan);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

### **C. Subtim Sistem Pembangkit Uap (Boiler)**

Dengan dibantu oleh Teknisi Sistem Boiler, Koordinator Subtim Sistem Boiler bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem boiler. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Boiler (lihat Lampiran 1-4) dan diserahkan kepada Teknisi Sistem Boiler;
- c). Memberikan pengarahan kepada Teknisi Sistem Boiler berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem boiler di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Boiler; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri;
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Boiler);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

### **D. Subtim Sistem Diesel-Generator**

Ahli Sistem Diesel Generator bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem diesel generator. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Diesel Generator (lihat Lampiran 1-5);
- c). Mempersiapkan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem diesel generator di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung.
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Diesel-Generator);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

### **E. Subtim Sistem Distribusi Uap**

Ahli Sistem Distribusi Uap bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem distribusi uap. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;

- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Distribusi Uap (lihat Lampiran 1-6);
- c). Mempersiapkan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem distribusi uap di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Distribusi Uap);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### **F. Subtim Sistem Integrasi Proses**

Ahli Sistem Integrasi Proses bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem integrasi proses. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Integrasi Proses (lihat Lampiran 1-7);
- c). Mempersiapkan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem integrasi proses di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Integrasi Proses);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### **G. Subtim Sistem *Chiller***

Ahli Sistem *Chiller* bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem *chiller*. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem *Chiller* (lihat Lampiran 1-8);
- c). Mempersiapkan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem *chiller* di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem *Chiller*);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### **H. Subtim Sistem Pompa**

Ahli Sistem Pompa bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada sistem pompa. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Pompa (lihat Lampiran 1-9);
- c). Mempersiapkan:

- Lokasi titik-titik ukur sistem pompa di industri yang akan diaudit;
- Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
- d). Menyusun/menulis laporan (Bab tentang Sistem Pompa);
- e). Mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

## I. Subtim Penyusunan Laporan

Penyusun Laporan bertugas:

- a). Mendistribusikan kerangka dan format laporan kepada masing-masing subtim audit energi;
- b). Mengumpulkan laporan yang sudah selesai dari masing-masing subtim audit energi;
- c). Menyusun laporan-laporan dari masing-masing subtim audit energi menjadi satu laporan gabungan sesuai dengan kerangka dan format laporan gabungan;
- d). Menulis bab tentang analisis keseluruhan - meliputi analisis konsumsi energi spesifik, potensi penghematan energi dan biaya, serta analisis awal tekno ekonomi - berdasarkan hasil analisis pada masing-masing laporan. Penulisan analisis ini dilakukan sambil berkoordinasi dengan masing-masing subtim auditor energi dan Manajer Tim;
- e). Menulis kesimpulan dan rekomendasi sambil berkoordinasi dengan masing-masing subtim auditor energi dan Manajer Tim;
- f). Menulis Ringkasan Eksekutif sambil berkoordinasi dengan Manajer Tim;
- g). Menulis Kata Pengantar sambil berkoordinasi dengan Manajer Tim;
- h). Menyusun daftar pustaka atau kepustakaan;
- i). Menyusun lampiran-lampiran yang berasal dari laporan subtim auditor energi;
- j). Menjilid laporan.

## 2.2.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

### 2.2.4.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Manajer Tim untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 2.2.3.1. Selain itu Manajer Tim juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

### 2.2.4.2. Persiapan Teknis

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Peralatan audit energi pada industri terdiri atas peralatan-peralatan ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*). Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi sehingga akan menjamin ketepatan atau keakuratan nilai yang diperolehnya.

Kepada masing-masing subtim diharuskan mempersiapkan secara teknis segala peralatannya. Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan;
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat;
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi;
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Daftar beberapa peralatan audit energi dan ilustrasinya dapat dilihat pada Tabel 2-5, Gambar 2-3, dan Gambar 2-3. Sedangkan rincian peralatan audit energi secara spesifik dan lengkap dapat dilihat pada Bab-bab yang bersesuaian. Misalnya, peralatan audit energi untuk sistem kelistrikan dapat dilihat di Bab 3 dan/atau Lampiran yang mendukung Bab 3. Peralatan audit energi untuk sistem pembangkitan uap atau boiler dapat dilihat di Bab 4 dan/atau Lampiran yang mendukung Bab 4. Demikian seterusnya.



Tabel 2-5  
Daftar Beberapa peralatan audit energi di industri.

Sistem	Alat Ukur	Alat Pendukung	Alat Keselamatan
Kelistrikan	<i>Power Analyser</i> <i>Current Transformer</i> <i>Clamp-on Power Meter</i> <i>Multitester</i> Kamera Termografi	Kabel-kabel listrik Kabel Gulung ( <i>Power</i> ) Perkakas Kelistrikan ( <i>Electrical Toolset</i> ): tang, obeng, <i>cable wrench</i> , gunting, <i>cutter</i> , solder Isolasi Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis) Kamera <i>Laptop</i> atau <i>Notebook</i>	Pelindung Kepala Pelindung Telinga Masker Kacamata Sarung Tangan Listrik Sarung Tangan Kain Baju-Celana Lapangan Sepatu Keselamatan Lampu Senter Sabuk Pengaman
Boiler	<i>Flow-meter (Ultrasonic)</i> <i>Pressure-meter</i> <i>Temperature-meter</i> Higrometer <i>Gas analyser</i> <i>TDS-meter</i> Anemometer	Kabel gulung Perkakas mekanik ( <i>Mechanical Toolset</i> ): tang, obeng, kunci pas, kunci Inggris, gergaji besi, gunting, <i>cutter</i> , palu Tali plastik	Pelindung Kepala Pelindung Telinga Masker Kacamata Sarung Tangan Kain Sabuk Pengaman Baju-Celana Lapangan

	Kamera Termografi	Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis, penggaris) Kamera	Sepatu Keselamatan Lampu Senter
Diesel Generator	<i>Pressure-meter</i> <i>Temperature-meter</i> <i>Gas analyser</i>	Kabel gulung <i>Mechanical Toolset</i> Tali plastik Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis) Kamera	Pelindung Kepala Pelindung Telinga <i>Masker</i> Kacamata Sarung Tangan Kain Sabuk Pengaman Baju-Celana Lapangan Sepatu Keselamatan Lampu Senter
Distribusi Uap	<i>Flow-meter (Ultrasonic)</i> <i>Pressure-meter</i> <i>Temperature-meter</i> Higrometer <i>TDS-meter</i> Kamera Termografi	Kabel gulung Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis) Kamera	Pelindung Kepala Pelindung Telinga <i>Masker</i> Kacamata Sarung Tangan Kain Baju-Celana Lapangan Sepatu Keselamatan Lampu Senter
Integrasi Proses	<i>Pressure-meter</i> <i>Temperature-meter</i> Higrometer	Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis) Kamera	Pelindung Kepala Pelindung Telinga <i>Masker</i> Kacamata Sarung Tangan Kain Baju-Celana Lapangan Sepatu Keselamatan Lampu Senter
Pompa	<i>Clamp-on Power Meter</i> <i>Multitester</i> <i>Flow-meter (Ultrasonic)</i>	Kabel gulung Alat tulis (kertas, <i>ball-point</i> , spidol, papan alat tulis) Kamera	Pelindung Kepala Pelindung Telinga <i>Masker</i> Kacamata Sarung Tangan Kain Sabuk Pengaman Baju-Celana Lapangan Sepatu Keselamatan Lampu Senter









 <p><b>Power Analyser</b> (HIOKI 3169-20/3169-21 Clamp on Power HiTESTER) (<a href="http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hi-tester/16624-29279.html">http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hi-tester/16624-29279.html</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Kelistrikan</p>	 <p><b>Current Transformer</b> (METSECT5VF060) (<a href="http://www.schneider-electric.com/products/www/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current%20Transformer">http://www.schneider-electric.com/products/www/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current Transformer</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Kelistrikan</p>
 <p><b>Clamp-on Power Meter</b> (Hioki 33285 Digital Clamp Meter) (<a href="http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter">http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Kelistrikan</p>	 <p><b>Digital Multimeter</b> (Fluke 787/EUR TRMS) (<a href="http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke-787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V">http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke-787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Kelistrikan</p>
 <p><b>Kamera infra-merah termografi</b> (Thermal Imaging Scanner) (<a href="https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner">https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Kelistrikan dan Lainnya</p>	 <p><b>Lux Meter</b> (Lutron Digital Lux Meter) (<a href="http://sukm.idonetwork.co.id/2743076/lutron-lux-meter-lx-101a.htm">http://sukm.idonetwork.co.id/2743076/lutron-lux-meter-lx-101a.htm</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Pencahayaan</p>
 <p><b>Ultrasonic Flowmeter</b> (<a href="http://www.fujielectric.com/products/instruments/products/flowmeter/top.html">http://www.fujielectric.com/products/instruments/products/flowmeter/top.html</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler dan Chiller</p>	 <p><b>Gas Analyser</b> (<a href="http://www.bacharach-inc.com/eca-450.htm">http://www.bacharach-inc.com/eca-450.htm</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler dan Diesel Generator</p>
 <p><b>Pressure Meter</b> (<a href="http://www.extech.com/instruments/product.asp?catid=15&amp;prodid=223">http://www.extech.com/instruments/product.asp?catid=15&amp;prodid=223</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler dan Distribusi Uap</p>	 <p><b>Temperature-Humidity Meter</b> (<a href="http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=30&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=223&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=">http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=30&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=223&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler, Distribusi Uap, Chiller</p>

 <p><b>TDS Meter</b> (<a href="http://www.bsktech.com/tds-meter.html">http://www.bsktech.com/tds-meter.html</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler dan Distribusi Uap</p>	 <p><b>Anemo Meter</b> (<a href="http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=7&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=68&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=">http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=7&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=68&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=</a>)</p> <p>Alat Ukur Sistem Boiler dan Diesel Generator</p>
---	--

\*) Daftar peralatan ukur tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Gambar 2-2. Ilustrasi beberapa peralatan ukur audit energi. \*)

 <p><b>Kabel-Gulung Listrik</b> (25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets) (<a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a>)</p>	 <p><b>Alat Kelistrikan</b> (Electric tool set) (<a href="http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1">http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1</a>)</p>
 <p><b>Laptop</b> (<a href="http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013">http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013</a>)</p>	 <p><b>Kamera Digital</b> (<a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a>)</p>
 <p><b>Tangga Lipat</b> (<a href="http://www.tangga-lipat.co/2012/10/tangga-lipat-aluminium-praktis.html">http://www.tangga-lipat.co/2012/10/tangga-lipat-aluminium-praktis.html</a>)</p>	 <p><b>Meteran</b> (<a href="http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20">http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20</a>)</p>

\*) Daftar peralatan pendukung tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Gambar 2-3. Beberapa peralatan pendukung audit energi. \*)

### 2.2.5. Persiapan dan Pengarahan K-3

Sebelum segenap anggota tim diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, Manajer Tim wajib mengingatkan atau memberikan pengarahan di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau lazim dikenal dengan sebutan K-3. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

#### 2.2.5.1. Melaksanakan Prosedur K-3

Hal pertama yang wajib dilakukan oleh setiap anggota Tim adalah mengenakan perlengkapan K-3. Seberapa lengkap perlengkapan K-3 yang harus dikenakan sangat bergantung kepada ketentuan di industri atau pabrik yang bersangkutan. Sebagai contoh, di industri-industri penyulingan minyak bumi dan pemrosesan gas (bumi), ketentuan penggunaan perlengkapan K-3 sangat ketat. Semua bagian tubuh nyaris ditutup. Sedangkan di beberapa industri lainnya - yang memang tingkat bahayanya dikategorikan relatif lebih rendah - penggunaan perlengkapan K-3 tidak selengkap seperti di industri penyulingan minyak bumi dan gas. Ilustrasi jenis perlengkapan K-3 lengkap dapat dilihat pada Gambar 2-4. Sedangkan ilustrasi komponen perlengkapan K-3 lainnya dapat dilihat pada Gambar 2-5.

Hal berikutnya adalah setiap anggota Tim diharapkan mampu melakukan identifikasi lokasi-lokasi tempat beraktivitas yang memiliki potensi bahaya. Misalnya, di lokasi tersebut terdapat poros berputar yang tidak dilindungi. Lokasi ini berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja apabila poros tersebut sampai tersentuh. Oleh karena itu sikap waspada perlu dilakukan.

Contoh-contoh lainnya adalah lokasi atau ruangan bertemperatur tinggi atau memancarkan radiasi panas (misal: pipa-pipa atau dinding peralatan yang panas tanpa isolasi), jaringan kabel (khususnya kabel listrik) yang tidak ditata rapih, emisi gas beracun (misal: dari pembakaran tidak sempurna).

Dengan kemampuan mengidentifikasi lokasi-lokasi yang berpotensi bahaya maka upaya pencegahan dapat sedini mungkin dilakukan, antara lain dengan pemakaian perlengkapan K-3 dan sikap bekerja yang cermat dan hati-hati. Yang juga perlu dilakukan adalah membiasakan diri untuk mencatat dan mengevaluasi setiap kejadian yang dianggap mencurigakan.















Keterangan:	1. Sabuk keselamatan	5. Helm
	2. Sarung tangan listrik	6. Kaca mata keselamatan
	3. Pelindung hidung-mulut	7. Pakaian keselamatan ( <i>coverall</i> )
	4. Pelindung telinga	8. Sepatu keselamatan

Gambar 2-4. Ilustrasi perlengkapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3).  
(Dicuplik dari berbagai sumber)

Dari Gambar 2-4 tampak bahwa perlengkapan K-3 terdiri atas:

1. Sabuk keselamatan (*safety belt*)
2. Sarung tangan listrik (*safety gloves*)
3. Pelindung hidung-mulut
4. Pelindung telinga (*ear muffs*)
5. Pelindung kepala (*head gears* atau *helmets* atau *hard hats*)
6. Pelindung mata dan wajah (*sunglasses, welding masks*)
7. Pelindung tubuh (*safety jackets, workpants, atau coveralls*)
8. Pelindung kaki (*safety shoes*)

 <p>Pelindung kepala (<i>helmet</i>) (<a href="http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603">http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga (<a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga (<i>ear plug</i>) (<a href="http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html">http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html</a>)</p>
 <p>Kacamata keselamatan (<i>Hornets safety glasses</i>) (<a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a>)</p>	 <p>Pelindung hidung-mulut (<i>masks</i>) (<a href="http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230">http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230</a>)</p>	 <p>Pelindung mulut dan hidung (<a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a>)</p>
 <p>Pelindung hidung-mulut (<i>masks</i>) (<a href="http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607">http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607</a>)</p>	 <p>Sarung-tangan kain (<a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a>)</p>	 <p>Sarung tangan listrik (<a href="http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4">http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4</a>)</p>
 <p>Sarung tangan panas <a href="http://ranpro.com/en/industries/extremeheat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extremeheat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a></p>	 <p>Pakaian keselamatan (<a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a>)</p>	 <p>Sepatu keselamatan (<a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a>)</p>
 <p>Tali/sabuk Pengaman (<a href="http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html">http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html</a>)</p>	 <p>Lampu senter (<a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a>)</p>	

Gambar 2-5. Berbagai perlengkapan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3).

### 2.2.5.2. Menangani Situasi Darurat

Pada saat sedang beraktivitas di industri atau pabrik, setiap anggota Tim juga diharapkan mampu menghadapi dan/atau menangani situasi darurat dengan mengikuti petunjuk atau prosedur dengan benar. Di area industri dengan mudah dapat dilihat dan dibaca petunjuk untuk menghadapi situasi darurat. Demikian pula sarana untuk menghadapi situasi darurat telah disediakan. Untuk itu kepada setiap anggota Tim diwajibkan untuk memperhatikan beberapa hal penting, sebagai berikut:

- Tangga Darurat

Pada saat akan beraktivitas di lantai atas terlebih dahulu lakukan identifikasi lokasi tangga darurat. Dalam hal terjadi situasi darurat maka langkah yang ditempuh untuk menghindari situasi tersebut akan lebih cepat dan aman.

- Lampu Bahaya

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah lampu bahaya. Kenali tanda yang diberikan oleh lampu bahaya.

- Area Evakuasi/Berkumpul

Pada saat terjadi situasi darurat setiap anggota Tim segera bergegas meninggalkan lokasi tempat beraktivitas dan menuju tempat berkumpul yang lazim disebut dengan area evakuasi. Industri atau pabrik telah memberikan petunjuk jalan untuk menuju area evakuasi ini.

- Tanda Keadaan Darurat Keselamatan Kerja

Perhatikan dan kenali dengan seksama tanda-tanda keadaan darurat keselamatan kerja yang banyak dipasang di banyak titik strategis di industri atau pabrik.

- Perhatikan Peringatan Tanda Keselamatan Kerja

Selain tanda-tanda, hal yang sama pentingnya adalah mengenali peringatan-peringatan keselamatan kerja.

Contoh ilustrasi tanda dan peringatan K-3 dapat dilihat pada Gambar 2-6.

### 2.2.5.3. Menyesuaikan Perilaku Kerja

Setiap anggota Tim juga dituntut untuk mematuhi dan menjaga kebersihan lingkungan di lingkungan industri atau pabrik, khususnya di sekitar lokasi tempat beraktivitas. Sikap dan perilaku perlu dijaga dan disesuaikan dengan keseharian yang diterapkan di industri tempatnya beraktivitas.

Dalam melaksanakan aktivitas, pemakaian perlengkapan K-3 juga harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan pekerjaannya. Sebagai contoh, pada kondisi kerja yang berpotensi bahaya bagi kesehatan, misalnya bising, udara sekitar kotor, lantai berdebu, maka selama melakukan pekerjaan audit energi peralatan K-3

yang harus dikenakan adalah pelindung telinga (misal, *ear plug*), *masker*, sarung tangan, dan sepatu keselamatan.

Terkait dengan perilaku kerja, setiap anggota Tim diharapkan melaksanakan ketentuan K-3 dengan benar. Jangan pernah meremehkan pemakaian perlengkapan K-3, khususnya pada saat sedang melakukan aktivitas kerja.



Gambar 2-6. Berbagai contoh tanda dan peringatan K-3.  
(Dikutip dari berbagai sumber).

Contoh salah atau meremehkan dalam pemakaian perlengkapan K-3, misalnya mengenakan sarung tangan listrik hanya sebelah yaitu hanya pada tangan kanan saja pada saat sedang bekerja di panel-panel listrik. Perilaku seperti ini berpotensi mengundang bahaya. Apabila yang bersangkutan tiba-tiba pusing atau bersin,



misalnya, maka terbuka kemungkinan tangan kiri, yang tidak dilindungi secara tidak sadar menyentuh kabel atau logam bemuatan listrik. Lain halnya bila kedua tangannya dilindungi, maka sekalipun tanpa sengaja tangan kiri menyentuh kabel atau logam bermuatan listrik maka yang bersangkutan akan selamat dari sengatan arus listrik.

Contoh lainnya, misalkan seorang anggota Tim sedang beraktivitas di area bertegangan listrik. Saat sedang memasang alat ukur di panel listrik, yang bersangkutan berjongkok dengan bertumpu pada lutut. Hal ini tidak benar dan sangat berbahaya karena celana bukan isolator. Dengan demikian tubuh sangat berisiko teraliri arus listrik. Yang benar adalah tubuh bertumpu pada sepatu karet. Sebagaimana diketahui bahwa karet tergolong isolator.

### **2.2.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan**

Manajer Tim berkoordinasi dengan Personil di industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Manajer segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## **2.3. TAHAP PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER**

Tahap pengumpulan data primer dan sekunder dapat dipandang sebagai tahap terpenting dari rangkaian tahapan audit energi. Pada tahap ini pengalaman atau “jam terbang” para auditor energi sangat menentukan. Semakin tinggi “jam terbang”-nya maka kualitas di samping kuantitas data yang dihasilkan akan semakin baik. Di samping itu, semakin tinggi “jam terbang” seorang auditor energi maka kemampuannya dalam “mengendus” adanya potensi penghematan energi semakin tinggi pula. Hal ini akan sangat bermanfaat pada saat dituangkan dalam laporan, khususnya pada subbab analisis.

Tahap pengumpulan data primer dan sekunder sering pula disebut dengan tahap pengukuran. Hal ini dikarenakan pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data primer. Misalnya, untuk mendapatkan data laju alir air umpan boiler (dalam satuan ton air per jam atau meter kubik air per jam) maka auditor perlu melakukan pengukuran secara langsung.

Pengukuran dilaksanakan tanpa mengganggu operasional boiler. Artinya, selama dilakukan pengukuran laju alir air umpan boiler, maka boiler tetap beroperasi sebagaimana mestinya. Aliran air umpan ke boiler juga tidak terganggu. Dengan demikian kualitas dan kuantitas uap (*steam*) yang dihasilkan boiler juga tidak berkurang.

Auditor dapat memasang alat ukur aliran (*flowmeter*) air jenis ultrasonik dengan cara “menempelkan” *flowmeter* tersebut pada bagian luar pipa air umpan boiler. Selanjutnya auditor mencatat hasil pengukuran tersebut. Data yang diperoleh dapat



dibandingkan dengan data hasil pengukuran industri/pabrik yang tertera di ruang kontrol boiler. Apabila kedua alat ukur - milik industri dan auditor - dalam keadaan baik dan telah dikalibrasi maka kedua data hasil pengukuran tersebut akan sama atau mendekati sama.

### 2.3.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Kegiatan

Sebelum kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder dilaksanakan, tim auditor disarankan untuk melakukan prosesi pembukaan kepada pemilik atau pengelola industri - lazim disebut dengan *auditee* atau pihak yang akan diaudit - sebagaimana layaknya seorang tamu. Langkah pembukaan ini merupakan langkah awal yang akan mengantarkan auditor melaksanakan langkah kegiatan selanjutnya.

Pada langkah pembukaan ini dilakukan pertemuan secara tatap muka antara segenap atau perwakilan tim auditor dengan pihak pemilik atau pengelola industri sebagai pihak yang akan diaudit energinya atau *auditee*. Dalam pertemuan pembukaan ini sedapat mungkin pihak *auditee* diwakili oleh perwakilan manajemen yang memiliki kewenangan dan otoritas yang memadai untuk memberikan semua data yang dibutuhkan selama pelaksanaan pengumpulan data berlangsung.

Oleh karena itu, sebelum pelaksanaan pengumpulan data, sebaiknya sudah didahului dengan komunikasi dengan pihak *auditee* mengenai sasaran, tujuan, dan ruang lingkup audit sekaligus memastikan kesiapan dari pihak *auditee* mengenai data-data yang diperlukan.

Agenda pembukaan setidaknya meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Pengenalan tim auditor energi;
2. Pemaparan latar belakang, maksud, tujuan, dan lingkup kegiatan;
3. Pemaparan tim *auditee* tentang sistem dan/atau peralatan di industri;
4. Pemaparan agenda kegiatan pengumpulan data;
5. Verifikasi/klarifikasi data yang telah dikumpulkan; dan
6. Pelaksanaan pemaparan hasil awal.

#### 2.3.1.1. Pengenalan Tim Auditor Energi

Pengenalan tim dimaksudkan agar masing-masing pihak dapat mengetahui siapa saja yang akan melakukan kegiatan pengukuran di lapangan. Dalam pengenalan ini, Manajer Tim Audit Energi memperkenalkan nama-nama anggota tim, posisi, serta tugasnya di dalam kegiatan pengumpulan data. Bila diperlukan, dapat ditambahkan latar belakang dan kompetensi anggota tim agar komunikasi dengan pihak *auditee* dapat lebih mudah.

Pihak *auditee* juga memperkenalkan siapa yang bertanggung jawab secara keseluruhan mewakili perusahaan selaku *auditee* dan *person in charge (PIC)* untuk masing-masing lingkup kegiatan.

### 2.3.1.2. Pemaparan Latar Belakang, Maksud, Tujuan, dan Lingkup Kegiatan

Sekalipun di dalam naskah proposal penawaran kegiatan yang telah dikirimkan dan diterima pihak pemilik atau pengelola industri sudah dituliskan latar belakang, maksud, tujuan, dan lingkup kegiatan audit energi yang akan dilaksanakan, namun pada kesempatan tatap muka ini perlu dijelaskan (kembali) mengenai hal-hal tersebut. Sebagaimana diketahui bahwa penjelasan secara lisan dan langsung akan lebih dapat dipahami dibandingkan dengan penjelasan tertulis.

Penjelasan sedapat mungkin dilakukan secara singkat namun dapat dipahami, disertai dengan dokumen-dokumen pendukung yang diperlukan. Latar belakang kegiatan audit energi, khususnya kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder, kontrak kerjasama, surat penugasan auditor, dan lain sebagainya yang menunjukkan bahwa ada landasan legal yang menjadi dasar dilakukannya kegiatan lapangan tersebut.

Di dalam pertemuan pembukaan ini dilakukan juga proses klarifikasi dan tanggapan *auditee* mengenai paparan tersebut di atas. Setiap kesepakatan yang diambil sebaiknya dicatat dan dimasukkan ke dalam berita acara pelaksanaan kegiatan lapangan. Jika ada keberatan-keberatan dari pihak *auditee* harus dijadikan catatan keberatan disertai alasannya, untuk nantinya dijadikan sebagai lampiran dalam laporan.

### 2.3.1.3. Pemaparan Tim *Auditee* Tentang Sistem dan/atau Peralatan di Pabrik yang akan Diaudit

Setelah usai penjelasan dari tim auditor mengenai latar belakang, maksud, tujuan, dan disepakati lingkup kegiatannya, dilanjutkan dengan paparan dari tim *auditee* secara ringkas mengenai sistem di industri yang menjadi obyek kegiatan.

Pihak *auditee* diharapkan dapat menjelaskan urutan proses produksi dimulai dari bahan baku hingga produk yang dihasilkan. Dengan penjelasan ini pihak auditor akan menjadi lebih lengkap informasinya menyangkut jenis dan jumlah peralatan proses dan utilitas.

Selain itu pada kesempatan ini pihak *auditee* juga menjelaskan tentang ketentuan atau prosedur standar K-3 atau *safety* yang harus dipatuhi oleh setiap anggota tim auditor.

Pada kesempatan ini pihak pengelola pabrik atau *auditee* akan menyampaikan kepada tim auditor tentang personil-personil pabrik yang ditugaskan untuk mendampingi para auditor. Biasanya akan ditugaskan beberapa personil pabrik sesuai dengan bidang atau tugasnya. Dengan demikian terbentuk semacam rekan atau *partner* kerja. Misalnya, untuk Subtim Sistem Kelistrikan akan didampingi oleh personil A yang kesehariannya memang bertugas pada sistem kelistrikan, sedangkan Subtim Sistem Boiler didampingi oleh B, demikian seterusnya. Tugas pendampingan ini mutlak diperlukan agar setiap kegiatan yang dilakukan oleh masing-masing Subtim atau auditor dapat dilaksanakan secara efektif dan aman. Untuk itu kepada setiap

anggota tim auditor disarankan senantiasa berkoordinasi dengan masing-masing pendampingnya.

#### 2.3.1.4. Pemaparan Agenda Kegiatan Pengumpulan Data

Paparan rencana agenda survei dilakukan oleh Manajer Tim untuk mendapatkan masukan dari *auditee* sebelum pelaksanaan di lapangan. Agenda survei lapangan disusun sesuai kesepakatan antara auditor dan *auditee*. Agenda survei yang disusun setidaknya mencakup: lokasi objek survei, data yang diperlukan, metoda pengumpulan data, surveyor/auditor, dan jangka waktu pelaksanaan kegiatan. Contoh agenda kegiatan dapat dilihat pada Tabel 2-6.

Pihak *auditee* dapat menambahkan PIC (*person in charge*) sebagai pendamping untuk setiap lokasi obyek survei. Jika ada kegiatan survei yang tidak memungkinkan untuk dilaksanakan dapat dicatat dan disesuaikan selama tidak keluar dari maksud dan tujuan audit di awal.

Tabel 2-6  
Contoh agenda kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder.

No	Lokasi Kegiatan	Pengukuran	Data Sekunder yang Diperlukan	Jadwal Pelaksanaan	Auditor	Auditee
1	Gedung Kelistrikan ( <i>Power House</i> ) dan Panel-panel listrik	Parameter listrik, meliputi: arus, tegangan, daya, faktor daya ( $\cos \Phi$ )	<i>Single line diagram</i> , data beban, trafo, rekening listrik 2 tahun terakhir	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-1, Auditor-2, Auditor-3	Auditee-1
2	Gd. Boiler	Laju alir dan temperatur (bahan bakar, udara pembakaran, air umpan boiler, uap, <i>blow-down</i> ), tekanan uap, temperatur dinding boiler, kelembaban nisbi udara sekitar, komposisi gas buang, TDS <i>blow-down</i> .	Spesifikasi boiler, data operasional boiler (1 bulan terakhir)	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-4, Auditor-5, Auditor-6	Auditee-2
3	Gd. Diesel-Generator	Laju alir (bahan bakar, udara pembakaran), kadar dan temperatur gas buang	Spesifikasi diesel generator, data operasional diesel generator (1 bulan)	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-7	Auditee-3
4	Berkeliling (kegiatan Sistem Distribusi Uap)	Temperatur pipa distribusi uap (khususnya yang tidak berisolasi), kebocoran uap.	Diagram alir proses termasuk uap.	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-8	Auditee-4
5	Berkeliling (kegiatan Sistem Integrasi Proses)	Laju alir, temperatur, dan tekanan operasi peralatan proses	Spesifikasi peralatan proses	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-9	Auditee-5
6	Lokasi Pompa	Parameter listrik (arus, tegangan, daya, $\cos \Phi$ ), laju alir fluida, tekanan kerja pompa.	Spesifikasi pompa	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor 10	Auditee-6
7	Gedung Manajemen		Dokumen komitmen manajemen energi, program konservasi energi yang telah, sedang, dan akan dilaksanakan.	Tanggal dd s.d dd'-mm-yy	Auditor-11	Auditee-7

### 2.3.1.5. Verifikasi/Klarifikasi Data yang Dikumpulkan

Kepada pihak *auditee* disampaikan bahwa setiap anggota Tim diharapkan dapat melakukan verifikasi atau klarifikasi kepada pihak *auditee* atas setiap data - baik data primer maupun data sekunder - yang dihasilkan sekiranya dianggap terdapat kejanggalan. Hal ini penting dilakukan untuk menjaga agar jangan sampai terjadi bahwa data yang dihasilkan atau dikumpulkan ternyata terdapat kesalahan. Dengan dilakukan klarifikasi maka diharapkan dapat terhindar dari pengukuran ulang sementara segenap tim sudah kembali ke kantor asal auditor.

### 2.3.1.6. Pelaksanaan Pemaparan Hasil Awal

Di hari terakhir kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder, tim auditor dapat menyampaikan hasil awal atas temuan-temuan potensi penghematan energi di lapangan kepada pihak industri. Temuan ini dapat diperoleh melalui pengukuran maupun pengamatan.

Tim auditor dapat menyampaikannya melalui presentasi singkat namun mengenai sasaran. Adakalanya pada penyampaian hasil awal ini tim auditor juga sekaligus dapat menyampaikan pula saran-saran, meskipun masih bersifat awal dan sementara.

Acara ini sekaligus mengakhiri kegiatan di pabrik dan berpamitan.

## 2.3.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Pelaksanaan pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan sesuai dengan jadwal/agenda yang telah disepakati pada saat pertemuan pembukaan. Perlu dipastikan kesiapan *auditee* untuk menyediakan data sekunder yang diperlukan selama survei/tinjauan lapangan berlangsung. Untuk menjamin kerahasiaan data yang diperoleh, pihak auditor dapat menandatangani perjanjian kerahasiaan (*Non Disclosure Agreement*) dengan pihak *auditee* jika diperlukan.

Selama pelaksanaan pengumpulan data primer dan sekunder, auditor wajib menggunakan alat bantu keselamatan, seperti pakaian keselamatan, helm, penutup telinga (*ear plug*), sepatu keselamatan (*safety shoes*), *masker*, dan lain-lain sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh *auditee* dalam melakukan aktivitas di lingkungan kerja perusahaan. Selain itu setiap subtim yang beraktivitas juga harus didampingi oleh pihak industri atau pabrik.

### 2.3.2.1. Pengumpulan Data Primer

Pengertian data primer di sini adalah data yang diperoleh oleh auditor secara langsung di lapangan dari hasil pengukuran, pengamatan, dan/atau wawancara dengan operator atau pihak manajemen.

## **A. Pengukuran**

Pada tahap ini setiap subtim audit energi bekerja untuk mendapatkan data primer sesuai dengan jenis dan jumlah yang tertera di dalam Lembar Isian-nya masing-masing.

Untuk Subtim Sistem Kelistrikan, misalnya, pengumpulan data primer mengacu atau berpedoman kepada Lembar Isian Sistem Kelistrikan (Lampiran 1-3). Di dalam Lembar Isian ini setiap anggota Subtim Sistem Kelistrikan dapat melihat jenis data kelistrikan apa saja yang harus diperoleh. Selain itu, dapat juga dilihat peralatan ukur dan pendukung yang harus digunakan.

Berdasarkan Lembar Isian tersebut di atas Subtim Sistem Kelistrikan mulai memasang peralatan ukur dan pendukungnya. Lembar Isian tersebut juga menjelaskan cara pengukurannya, yaitu secara terus-menerus/sinambung (*on-line*) atau sesaat. Demikian halnya yang diukur secara sinambung juga dijelaskan periode waktunya, misalnya 5 x 24 jam.

Contoh lainnya, untuk Subtim Sistem Pembangkit Uap atau Boiler, pengumpulan data primer mengacu atau berpedoman kepada Lembar Isian Sistem Boiler (Lampiran 1-4). Di dalam Lembar Isian ini setiap anggota Subtim Sistem Boiler dapat melihat parameter operasi boiler apa saja yang harus diperoleh. Selain itu, dapat juga dilihat peralatan ukur dan pendukung yang harus digunakan.

Berdasarkan Lembar Isian tersebut di atas Subtim Sistem Boiler mulai memasang peralatan ukur dan pendukungnya. Lembar Isian tersebut juga menjelaskan cara pengukurannya.

Demikian seterusnya untuk subtim-subtim lainnya. Hingga masing-masing subtim memperoleh data primer hasil pengukuran.

Adakalanya pekerjaan pengukuran ini menjadi dipermudah. Data primer diperoleh tanpa pemasangan peralatan ukur oleh auditor. Hal ini dapat terjadi pada pabrik atau industri yang telah memasang alat ukur secara lengkap dan disiplin dalam pengkalibrasiannya. Pabrik tipe ini kesehariannya memang sudah peduli dengan akurasi data. Sehingga semua data parameter operasi peralatannya selalu akurat dan valid. Bila menjumpai pabrik tipe ini maka pihak auditor cukup mencatat atau merekam data yang dihasilkan oleh alat ukur pabrik tersebut.

Namun sebaliknya, terkadang pekerjaan pengukuran menjadi sulit. Hal ini misalnya alat ukur pada pabrik tersebut sedang mengalami gangguan. Atau pabrik tidak memasang alat ukur. Kesulitan yang dialami misalnya tidak tersedia ruang yang memadai untuk pemasangan alat ukur. Dalam kondisi seperti ini, koordinasi dan diskusi dengan tim pendamping dari pabrik sangat diperlukan agar maksud untuk memperoleh data primer tetap dapat terwujud.

## **B. Pengamatan/Observasi**

Selain dengan cara pengukuran, di dalam Lembar Isian juga dituliskan jenis-jenis data primer yang harus diperoleh dengan cara pengamatan. Dengan demikian anggota Subtim atau Koordinator Subtim harus melakukan pengamatan dengan

operator dan/atau pihak manajemen yang berkaitan dengan sistem atau alat yang sedang diaudit energinya.

Pengamatan atau observasi dilakukan terhadap kondisi dan operasional peralatan. Pada saat melakukan observasi secara visual ini jika diperbolehkan oleh *auditee* sekaligus juga dilakukan perekaman data dalam bentuk foto dan/atau video. Hal ini akan sangat berguna sebagai data pendukung pada saat tahap analisis.

Di samping analisis berdasarkan data hasil pengukuran, analisis berdasarkan observasi visual juga dilakukan, yaitu meliputi:

- a) Kondisi peralatan;
- b) Kewajaran operasi peralatan;
- c) Ketersediaan *Standard Operating Procedure (SOP)* dan kepatuhan operator;
- d) Indikator-indikator pemborosan energi;
- e) Aliran proses dan *setting* operasi;
- f) Penerapan kaidah-kaidah efisiensi energi;
- g) Keberadaan dan kondisi alat ukur yang terpasang.

### C. Wawancara

Selain itu data primer juga diperoleh melalui metode wawancara (*interview*). Cara ini dilakukan untuk menggali lebih dalam mengenai status manajemen, pengoperasian, dan pemeliharaan peralatan.

Wawancara dilakukan terhadap pihak-pihak terkait yang dianggap perlu dan memiliki peran signifikan terhadap penggunaan energi maupun implementasi sistem manajemen energi.

Hal-hal yang dapat digali melalui wawancara, antara lain:

- a) Cara pengoperasian peralatan;
- b) Permasalahan dalam pengoperasian;
- c) Pembinaan kompetensi pegawai;
- d) Temuan-temuan di lapangan.

#### 2.3.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

Pengertian data sekunder adalah data yang diperoleh dari operator atau pihak manajemen yang sudah diolah. Contohnya, seperti data primer di atas, yaitu: laju alir air umpan boiler, temperatur uap (*steam*), laju alir uap dari boiler, komposisi gas buang boiler, namun yang telah ditabulasikan atau dibukukan oleh pabrik tersebut, misal selama 1 tahun terakhir. Termasuk data sekunder adalah data spesifikasi peralatan (misalnya boiler) serta peralatan pendukungnya.

Data sekunder diperoleh dengan meminta salinan (*copy*) dokumen kepada pihak pabrik atau industri. Selain itu sering digunakan cara memberikan daftar pertanyaan atau kuesioner.

Lazimnya kuesioner memang diberikan kepada pihak industri atau pabrik untuk diisi. Namun akan lebih efektif bila dapat diisi sendiri oleh auditor. Untuk itu

kegiatannya dapat digabung pada saat wawancara. Jadi, sambil melakukan wawancara sekaligus mengisi kuesioner.

Cara seperti ini di samping lebih efektif, juga tidak merepotkan pihak pabrik yang sudah sibuk dengan aktivitas hariannya.

Apabila pertanyaan di dalam kuesioner tersebut menyangkut pengisian data konsumsi energi secara serial, misal konsumsi minyak residu per bulan selama 3 tahun terakhir, maka auditor dapat meminta salinan (*copy*) tabulasi data tersebut kepada pihak pabrik.

Dengan mengingat waktu yang dialokasikan untuk pengukuran data primer dan sekunder relatif singkat maka setiap koordinator subtim audit energi harus mampu memperkirakan waktu yang diperlukan untuk pengisian kuesioner ini.

Dapat juga kuesioner dikirimkan kepada pihak industri sebelum waktu pelaksanaan pengumpulan data primer dan sekunder. Atau, pada hari pertama di pabrik - saat akan memulai pelaksanaan pengumpulan data primer dan sekunder - kuesioner tersebut diserahkan kepada pihak industri.

Hal yang perlu diperhatikan adalah setiap data sekunder yang didapatkan harus dikonfirmasi kepada *auditee* bahwa data tersebut merupakan data dengan sumber data yang dapat dipertanggungjawabkan.

Seperti halnya pada saat pengumpulan data primer, maka untuk pengumpulan data sekunder pun masing-masing subtim audit energi agar berpedoman kepada Lembar-lembar Isian yang bersesuaian. Misalnya, untuk Subtim Sistem Kelistrikan berpedoman kepada Lembar Isian Sistem Kelistrikan (Lampiran 1-3), Subtim Sistem Boiler berpedoman kepada Lembar Isian Sistem Boiler (Lampiran 1-4), demikian seterusnya.

### **2.3.3. Verifikasi Hasil Pengumpulan Data Primer dan Sekunder**

Pada prinsipnya pelaksanaan verifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh - baik data primer maupun sekunder - adalah data yang valid, lengkap, dan dapat dipertanggungjawabkan. Dengan demikian data tersebut layak untuk digunakan pada tahap analisis.

Masing-masing subtim audit energi harus melaksanakan tahapan ini. Verifikasi data meliputi pula kuantitasnya di samping kualitas. Sehingga pada saat dilakukan analisis atau perhitungan tidak mengalami kekurangan data.

Sebagaimana diketahui bahwa setelah menyelesaikan kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder, umumnya atau pada prinsipnya segenap anggota Tim Audit Energi meninggalkan lokasi pabrik dan kembali ke kantor atau institusi asalnya. Di kantor inilah tahap analisis dilakukan. Hal seperti ini berisiko terjadi kekurangan data atau terdapat data yang kurang jelas. Bila hal tersebut sampai terjadi maka hal yang harus dilakukan adalah datang kembali ke pabrik untuk menanyakan data yang kurang jelas itu, atau bahkan melakukan pengukuran ulang.

Guna menghindari kejadian harus datang kembali ke pabrik maka perlu ditempuh satu langkah penting, yaitu verifikasi data.

Dengan dilakukannya tahap verifikasi data ini maka tim auditor akan terhindar dari kemungkinan dilakukannya pengukuran atau pengamatan ulang di lapangan.

Pelaksanaan verifikasi data dapat dilakukan langsung pada saat di lapangan. Setiap data hasil pengukuran dan/atau pengamatan yang meragukan segera dapat diverifikasi dengan tim pendamping dari pabrik. Apabila diketahui bahwa data tersebut meragukan atau tidak layak maka dapat segera dilakukan pengukuran dan/atau pengamatan ulang.

Verifikasi juga dapat dilakukan pada saat acara pemaparan hasil awal sekaligus

#### 2.3.4. Pemaparan Hasil Awal

Tahap pengumpulan data primer dan sekunder diakhiri dengan pertemuan penutupan. Pada pertemuan di ujung kegiatan ini Tim Auditor sebaiknya juga menyampaikan hasil-hasil awal meskipun masih bersifat sementara.

Misalnya, dari data hasil pengukuran (=data primer), Subtim Kelistrikan memperoleh fakta awal bahwa faktor daya ( $\cos \Phi$ ) di pabrik tersebut masih di bawah batas yang ditentukan oleh PT PLN (Persero). Fakta awal tersebut ternyata berkorelasi dengan data di rekening listrik (=data sekunder) yang menunjukkan bahwa pabrik membayar (denda) pemakaian kVARh. Berdasarkan fakta awal ini Subtim Sistem Kelistrikan dapat memberikan rekomendasi awal kepada pihak industri agar melakukan upaya peningkatan faktor daya, umpamanya dengan pemasangan 1 set *capacitor bank*. Sedangkan menyangkut kapasitas *capacitor bank* yang dianjurkan dipasang belum dapat disampaikan pada kesempatan itu. Subtim Sistem Kelistrikan perlu melakukan analisis lebih lanjut sekaligus perhitungannya.

Contoh lainnya, misalnya, Subtim Sistem Boiler mendapatkan fakta bahwa kandungan gas karbonmonoksida (CO) di dalam aliran gas buang (*exhaust gas*) dari boiler di atas batas normal. Oleh karenanya kandungan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) di dalam aliran yang sama relatif rendah. Untuk itu Subtim Sistem Boiler dapat memberikan saran awal kepada pihak pabrik agar melakukan pengaturan kembali pada sistem pembakaran di boiler tersebut. Pengaturan tersebut, misalnya dengan mengubah perbandingan (rasio) antara suplai bahan bakar dengan udara (pembakar).

Sub-subtim lainnya dapat juga berkontribusi menyampaikan hasil-hasil awalnya sekiranya memungkinkan.

Rekomendasi yang disampaikan pada pemaparan hasil awal ini sering segera ditindaklanjuti oleh pihak pabrik. Karena pada prinsipnya setiap temuan adalah sebuah potensi penghematan, baik energi maupun biaya. Oleh karena itu pihak pabrik tidak akan membiarkan sebuah potensi itu berlalu.

Pada pertemuan penutup ini sekaligus dapat dimanfaatkan untuk dilakukan klarifikasi data kepada *auditee*. Sekiranya sempat terjadi hal yang tidak dapat dihindari, yakni kekurangan data primer karena adanya gangguan operasi pada peralatan yang sedang diukur, maka pada kesempatan ini dapat dikonfirmasi waktu untuk melakukan pengukuran susulan.



## 2.4. TAHAP ANALISIS

Pada tahap ini masing-masing subtim audit energi melakukan analisis atas data primer dan sekunder yang sudah dikumpulkan.

Analisis dilakukan dalam 2 tingkat. Pertama, dilakukan analisis kuantitatif potensi penghematan energi. Kedua, dilakukan analisis tekno-ekonomi terhadap hasil analisis kuantitatif tahap pertama.

Dengan demikian jelas bahwa analisis potensi penghematan energi jangan berhenti pada analisis kualitatif, namun mesti dilanjutkan pada analisis kuantitatif. Apabila analisisnya hanya sebatas kualitatif, maka tidak dapat dilanjutkan dengan analisis tekno-ekonomi.

### 2.4.1. Potensi Penghematan Energi

Sesuai dengan definisinya, audit energi pada hakekatnya adalah mengidentifikasi potensi penghematan energi. Jadi, ujung dari audit energi adalah diperolehnya potensi penghematan energi.

Perhitungan potensi penghematan energi suatu alat atau sistem akan menjadi lebih mudah apabila auditor menyusun neraca energi. Persentase yang rasional dari energi yang hilang pada neraca energi adalah potensi penghematannya.

Pengertian rasional di sini dengan menggunakan pendekatan *best practice* pada konsumsi energi spesifik (KES). Auditor menghitung KES pabrik yang sedang diaudit energinya, yakni jumlah produk yang dihasilkan dibagi dengan jumlah energi yang dikonsumsi pada kurun waktu tertentu. Dengan demikian akan diperoleh angka KES dalam satuan ton produk per kWh energi selama satu tahun, misalnya. Angka KES ini kemudian dibandingkan dengan KES terbaik (*best practice*) untuk industri serupa. Apabila KES saat diaudit lebih kecil atau sama dengan KES terbaik, berarti pabrik telah beroperasi pada kondisi efisien. Sedangkan apabila sebaliknya, maka selisih angka KES tersebut merupakan potensi penghematan energi.

Neraca energi yang disusun dalam bentuk tabulasi, misalnya, akan menjadi lebih mudah dipahami apabila dikonversi dalam wujud diagram Sankey.

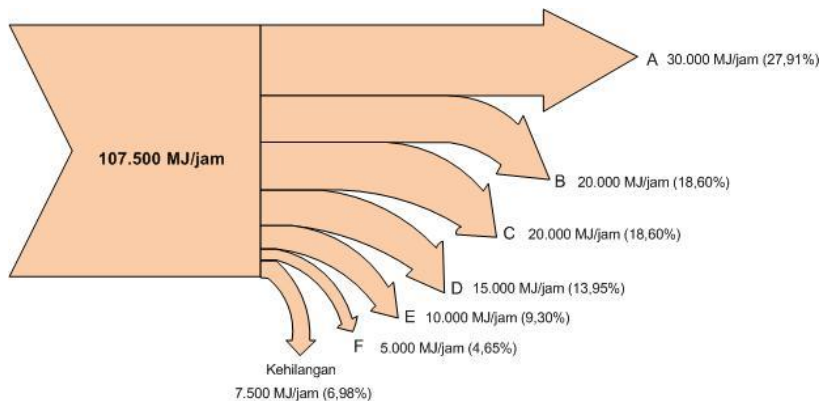
Contoh neraca energi sederhana suatu sistem dalam bentuk tabulasi disajikan pada Tabel 2-7. Selanjutnya dari tabel tersebut dikonversi menjadi diagram Sankey (Gambar 2-7).

Dari hasil tabulasi dan diagram Sankey tersebut tampak bahwa pada sistem tersebut terjadi kehilangan energi sebesar 7.500 MJ per jam atau 6,98 persen. Apabila persentase kehilangan yang rasional ditetapkan 2 persen maka potensi penghematannya sebesar 6,98 - 2 atau sebesar 4,98 persen. Ini setara dengan 5.353,5 MJ per jam. Selanjutnya potensi dalam satuan energi per jam tersebut dikonversi menjadi rupiah per jam atau rupiah per tahun.

Sebagaimana disebutkan di atas, setiap subtim audit energi melakukan analisis potensi penghematan energi. Diharapkan juga setiap subtim dapat menyajikan neraca energi, khususnya dalam wujud diagram Sankey.

Tabel 2-7  
Contoh neraca energi sederhana suatu sistem

Produksi Uap (= Energi Masuk)		Konsumsi Uap (= Energi Keluar)		
Nama Alat	Laju Energi, [MJ/jam]	Nama Alat	Laju Energi, [MJ/jam]	Persentase (%)
Boiler-1	57.500	A	30.000	27,91%
Boiler-2	50.000	B	20.000	18,60%
		C	20.000	18,60%
		D	15.000	13,95%
		E	10.000	9,30%
		F	5.000	4,65%
		Kehilangan	7.500	6,98%
Jumlah	107.500	Jumlah	107.500	100,00%



Gambar 2-7. Contoh diagram Sankey suatu sistem.

Subtim Sistem Kelistrikan, misalnya, melakukan analisis serta perhitungan-perhitungan tentang faktor daya, faktor beban, faktor kebutuhan, konsumsi energi listrik per satuan waktu (hari, bulan, dan/atau tahun), biaya energi per satuan waktu (bulan dan/atau tahun), konsumsi energi spesifik dari sisi energi listrik, dan beberapa lainnya. Selanjutnya dianalisis tentang potensi penghematan energi listrik.

Hasil analisis potensi penghematan energi listrik dinyatakan dalam satuan energi per satuan waktu, kemudian dikonversikan menjadi rupiah per satuan waktu.

Pernyataan potensi penghematan yang dikonversikan menjadi rupiah per satuan waktu sangat penting. Ini akan lebih mudah untuk dipahami, khususnya bagi anggota manajemen pabrik yang tidak berlatar-belakang teknik.

Untuk mencerna potensi penghematan energi sebesar 1 juta kWh per tahun, misalnya, cenderung lebih sulit (bahkan orang teknik kadang masih harus berpikir keras) bila dibandingkan dengan satuan Rp500 juta per tahun, misalnya.

Begitu juga yang dilakukan oleh Subtim Sistem Boiler. Analisisnya meliputi efisiensi boiler, rasio bahan bakar terhadap udara (pembakar), komposisi gas buang (khususnya persentase CO, CO<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub>), terkait *blow-down*, kualitas *return condensate*, dan beberapa lainnya. Selanjutnya dianalisis potensi penghematan energi yang dinyatakan dalam satuan energi per satuan waktu. Dan, akhirnya satuan potensi penghematan tersebut dikonversi menjadi rupiah per satuan waktu.

Demikian seterusnya untuk masing-masing subtim audit energi.

Dengan menghasilkan potensi penghematan energi dalam satuan energi per satuan waktu dan rupiah per satuan waktu berarti analisisnya bukan sekedar kualitatif melainkan kuantitatif.

## 2.4.2. Analisis Awal Tekno-Ekonomi

Di atas sudah dijelaskan bahwa potensi penghematan energi dinyatakan dalam satuan rupiah per satuan waktu. Apabila jumlah rupiah tersebut sepadan (bagi pihak pemilik atau pengelola pabrik) maka potensi tersebut menarik untuk diwujudkan.

Dengan biaya energi sebesar Rp5 miliar per bulan, misalnya, maka potensi penghematan sebesar Rp10 juta per bulan tentu sangat tidak menarik untuk ditindaklanjuti. Lain halnya bila potensinya sebesar Rp500 juta per bulan atau Rp6 miliar per tahun, misalnya.

Tantangan berikutnya bagi para auditor adalah menjawab pertanyaan bagaimana mewujudkan potensi penghematan tersebut. Di dalam analisis, setiap subtim audit energi harus mampu memecahkan tantangan mewujudkan potensi penghematan energi dan biaya tersebut.

Dalam mewujudkan potensi penghematan energi tersebut, terdapat 4 kemungkinan yang akan dihadapi oleh pemilik industri, yaitu:

1. Tanpa biaya;
2. Dengan biaya (= investasi) rendah;
3. Dengan biaya menengah; atau
4. Dengan biaya tinggi.

Maksudnya tanpa biaya adalah langkah yang dilakukan, misalnya mengubah metode kerja operator peralatan, melakukan penyetelan ulang terhadap mesin, dan beberapa lainnya. Sedangkan dengan biaya rendah dimaksudkan langkah yang dilakukan berkonsekuensi mengeluarkan biaya (investasi) namun masih dalam skala yang rendah atau murah. Ini misalnya mengganti beberapa komponen peralatan agar kinerja peralatan tersebut meningkat. Demikian seterusnya hingga yang terakhir berbiaya tinggi. Hal ini misalnya harus mengganti 1 unit peralatan utama, misal boiler, turbin generator, atau alat-alat vital lainnya.

Apabila hal yang harus dilakukan oleh pemilik pabrik berkonsekuensi mengeluarkan biaya, khususnya biaya tinggi, maka auditor energi harus melengkapi laporannya dengan analisis awal tekno ekonomi. Hal ini diperlukan untuk menjawab pertanyaan, berapa uang yang harus dikeluarkan serta layak atau *feasible*-kah?

Pengertian analisis awal tekno ekonomi di sini adalah analisis tekno ekonomi yang belum didukung dengan suatu hasil kajian mendalam. Kelak pada saat hasil kegiatan audit energi ini dipresentasikan, tim auditor energi akan menyampaikan kepada pemilik industri untuk dilakukannya studi kelayakan (*feasibility study*) sebagai tindak lanjut hasil analisis yang menyarankan untuk mengganti peralatan sehingga berkonsekuensi investasi tinggi. Melalui studi kelayakan ini, analisis tekno-ekonomi yang dilakukan berdasarkan suatu kajian yang mendalam.

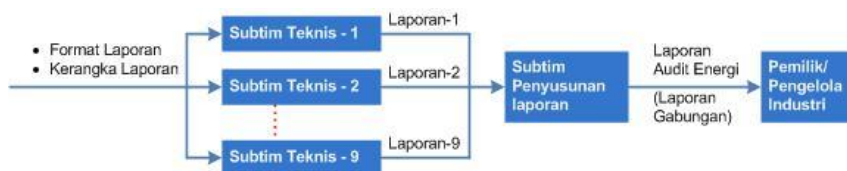
Beberapa besaran ekonomi yang lazim disajikan, khususnya pada analisis awal tekno-ekonomi adalah (1) *Net Present Value (NPV)*, (2) *Annual Equivalent (AE)*, (3) *Payback Period*, (4) *Internal Rate of Return (IRR)*, dan (5) *Profitability Index (PI)*.

Seperti halnya pada Analisis Potensi Penghematan Energi, maka masing-masing subtim audit energi diharapkan melengkapi analisisnya dengan analisis awal tekno-ekonomi. Namun dengan catatan, apabila untuk mewujudkan potensi penghematan biayanya diperlukan investasi sedang atau tinggi. Sebaliknya, bila yang diperlukan adalah investasi rendah atau tanpa biaya maka analisis awal tekno-ekonomi tidak perlu dilakukan.

## 2.5. TAHAP LAPORAN

Tahap akhir pelaksanaan audit energi adalah penyusunan laporan. Di ujung laporan terdapat hal yang sangat ditunggu oleh pemilik industri, yakni kesimpulan dan saran atau rekomendasi untuk mewujudkan potensi penghematan energi yang diperoleh.

Langkah yang dilakukan pada tahap laporan adalah: (1) penetapan format dan kerangka laporan, (2) koordinasi penyusunan laporan, (3) penyusunan dan finalisasi laporan gabungan, (4) penyerahan dan presentasi laporan final sementara, serta (5) penyerahan laporan final. Keempat langkah di atas dapat dirangkum dalam diagram pada Gambar 2-8.



Gambar 2-8. Langkah skematis penyelesaian pekerjaan pada tahap laporan.

### 2.5.1. Penetapan Format dan Kerangka Laporan

Yang dimaksud dengan format laporan di sini adalah panduan singkat-praktis tata cara penulisan naskah laporan. Hal ini perlu ditetapkan agar penulisan laporan oleh masing-masing Subtim (Teknis) Audit Energi dapat dilakukan dengan mudah dan seragam. Selain itu juga akan memudahkan Subtim Penyusunan Laporan dalam proses penggabungan, pengeditan, dan penyelesaiannya.

Hal-hal yang ditetapkan dalam format laporan meliputi: (a) ukuran kertas; (b) orientasi; (c) ukuran atau batas-batas *margin* (atas - bawah; kiri - kanan; *header*;

*footer*); (d) halaman; (e) tata letak; (f) huruf (jenis, ukuran); (g) bahasa yang digunakan; (h) jarak antar baris (spasi); dan (h) angka untuk bab, subjudul, sub-subjudul, serta nomor halaman.

Sedangkan yang dimaksud dengan kerangka laporan adalah struktur atau urutan penyajian laporan. Secara sederhana kerangka laporan ini dapat disebut dengan “Daftar Isi” laporan.

Sebagaimana telah disampaikan pada uraian sebelumnya bahwa audit energi ini terdiri atas 8 tinjauan (teknis) yang masing-masing dikerjakan oleh 1 subtim. Di akhir kegiatan, masing-masing subtim itu akan menyusun laporan sesuai dengan kajian yang dilakukannya. Oleh karena itu Manajer Tim menetapkan 2 kerangka laporan, yaitu: (A) kerangka laporan beserta formatnya untuk Laporan Gabungan, dan (B) kerangka laporan beserta formatnya untuk Laporan Masing-masing Subtim.

### 2.5.1.1. Kerangka dan Format Laporan Gabungan Audit Energi

Pengertian laporan gabungan di sini adalah sebuah laporan hasil menggabungkan laporan-laporan yang berasal dari sub-subtim audit energi.

Mengacu kepada Tabel 2-3, terdapat 8 subtim yang melakukan 8 kajian teknis, yaitu kajian pada sistem-sistem: (1) kelistrikan, (2) pembangkit uap (boiler), (3) diesel generator, (4) distribusi uap, (5) integrasi proses, (6) *chiller*, (7) pompa, dan (8) manajemen energi.

Atas 8 kajian teknis tersebut di atas akan disusun sebuah laporan audit energi. Laporan ini yang disebut dengan laporan gabungan karena menggabungkan 8 laporan kajian teknis menjadi satu laporan. Untuk itu Manajer Tim menetapkan kerangka laporan gabungan, dengan struktur dapat dilihat pada Gambar 2-9.

Selain itu Manajer Tim juga menetapkan format laporan, misalnya:

- |                           |  |                                |                                    |
|---------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| (a) Ukuran kertas         | : A-4  |                                |                                    |
| (b) Orientasi             | : <i>Portrait</i> atau Vertikal                                |                                |                                    |
| (c) <i>Margin</i>         | : Atas : 2,0 cm; Bawah : 2,0 cm; Kiri : 2,5 cm; Kanan : 2,0 cm |                                |                                    |
| (d) Halaman               | : Normal   |                                |                                    |
| (e) Tata Letak            | : <i>Header</i> : 1,27 cm; <i>Footer</i> : 1,0 cm              |                                |                                    |
| (f) Huruf                 | : Jenis : trebuchet  |                                |                                    |
|                           | Ukuran : Judul (Bab)   | : 20, huruf besar semua, tebal |                                    |
|                           |  | Subjudul                       | : 12, huruf besar semua, tebal     |
|                           |  | Sub-subjudul                   | : 11, huruf besar dan kecil, tebal |
|                           |  | Naskah Utama                   | : 11, huruf besar dan kecil        |
|                           |  | No. Halaman                    | : 11                               |
|                           |  | Keterangan Tabel               | : 10, huruf besar dan kecil        |
|                           |  | Keterangan Gambar              | : 10, huruf besar dan kecil        |
| (g) Bahasa                | : Indonesia  |                                |                                    |
| (h) Spasi                 | : 1,5  |                                |                                    |
| (i) Angka (jenis) untuk : |  | bab                            | : angka Romawi                     |
|                           |  | subjudul                       | : angka biasa                      |
|                           |  | sub-subjudul                   | : angka bial                       |

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
KATA PENGANTAR	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
RINGKASAN EKSEKUTIF		
BAB 1 PENDAHULUAN		
1.1 Identitas Perusahaan	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN		
2.1 .....		
2.2 .....		
BAB 3 SISTEM BOILER		
3.1 .....		
3.2 .....		
BAB 4 SISTEM DIESEL-GENERATOR		
4.1 .....		
4.2 .....		
BAB 5 SISTEM DISTRIBUSI UAP		
5.1 .....		
5.2 .....		
BAB 6 SISTEM INTEGRASI PROSES		
6.1 .....		
6.2 .....		
BAB 7 SISTEM CHILLER		
7.1 .....		
7.2 .....		
BAB 8 SISTEM POMPA		
8.1 .....		
8.2 .....		
BAB 9 SISTEM MANAJEMEN ENERGI		
9.1 .....		
9.2 .....		
BAB 10 ANALISIS KESELURUHAN		
10.1 Potensi Penghematan Energi		
10.2 Tekno-Ekonomi		
BAB 11 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		
11.1 Kesimpulan		
11.2 Rekomendasi		
KEPUSTAKAAN		
LAMPIRAN		

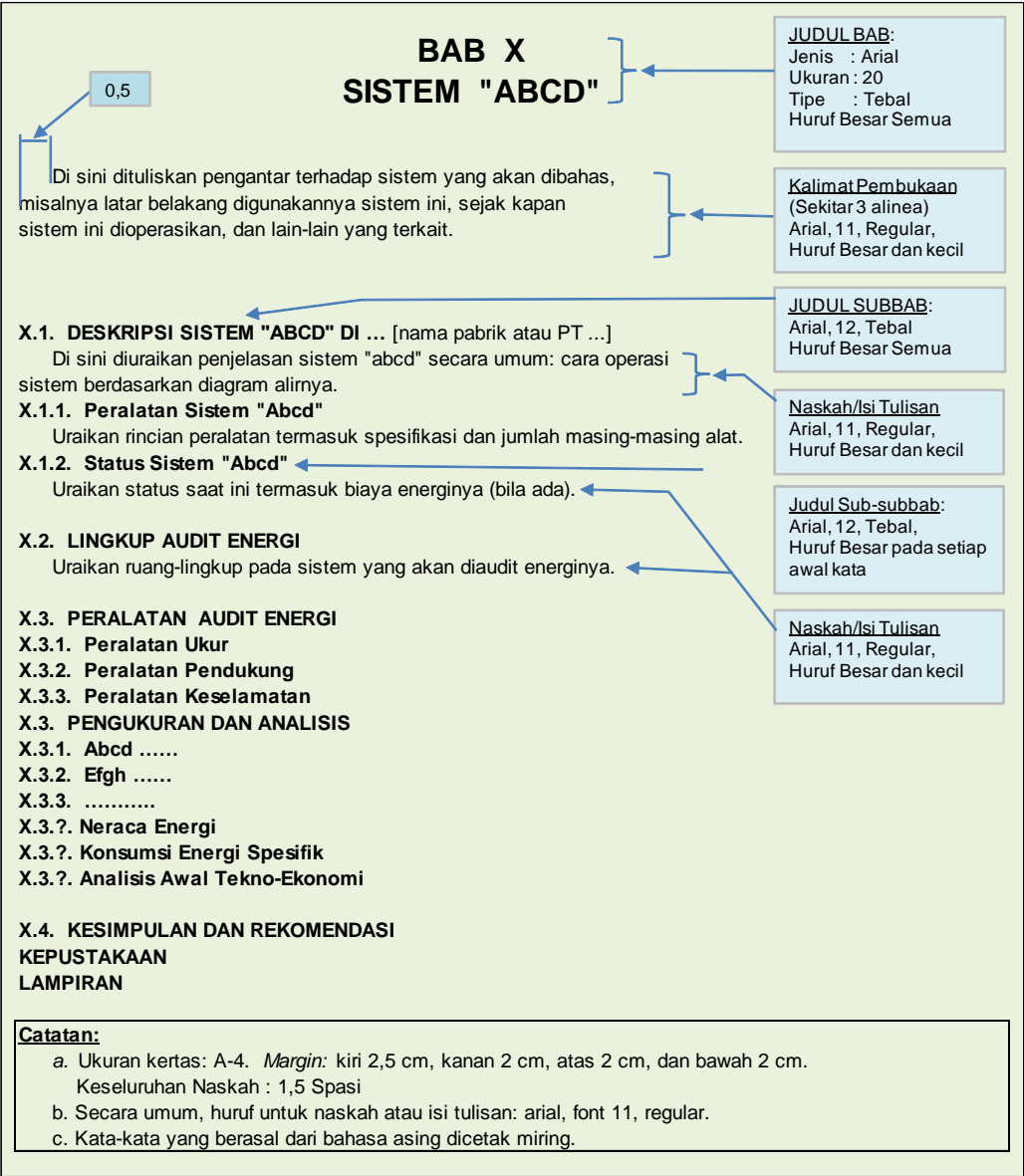
Gambar 2-9. Contoh kerangka dan format laporan gabungan audit energi.

### 2.5.1.2. Kerangka dan Format Laporan Subtim Audit Energi

Kerangka dan format laporan subtim audit energi didistribusikan kepada masing-masing subtim audit energi sebagai acuan atau pedoman dalam menyusun laporan. Contoh kerangka dan format laporan untuk subtim audit energi dapat dilihat pada Gambar 2-10A dan 2-10B.

Gambar 2-10A menjelaskan struktur (susunan) laporan, ukuran kertas, margin, spasi, tata letak, serta ukuran dan jenis huruf. Sedangkan Gambar 2-10B menjelaskan tata letak penulisan judul tabel dan gambar serta jenis dan ukuran

huruf. Judul atau keterangan tabel diletakkan di atas tabel sedangkan judul atau keterangan gambar diletakkan di bawah gambar.



Gambar 2-10A. Contoh kerangka dan format naskah laporan untuk subtim audit energi.

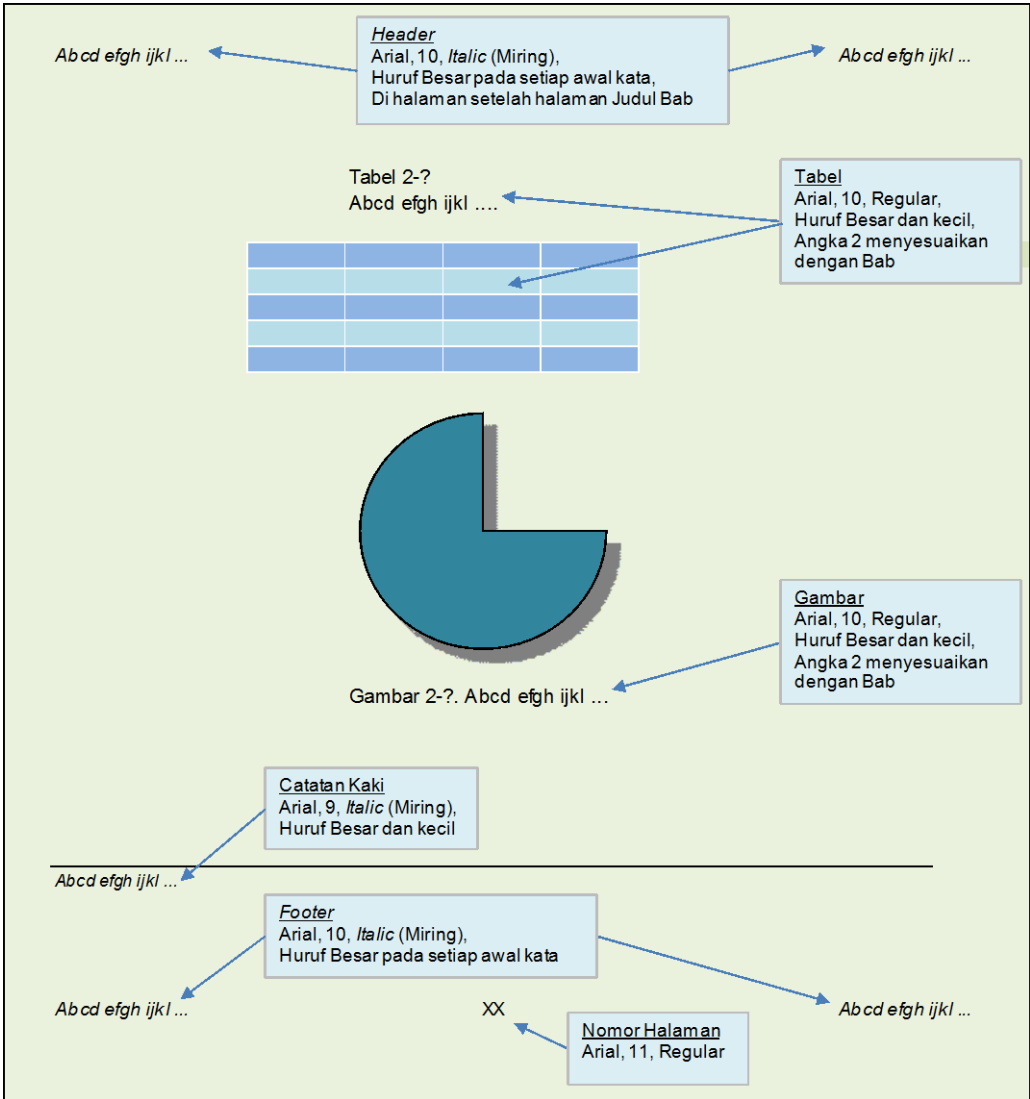
Pada Gambar 2-10A dituliskan BAB X SISTEM “ABCD”. Huruf X dimaksudkan angka yang sesuai dengan nomor urut pada Tabel 2-8.

Untuk Subtim Sistem Kelistrikan, misalnya, huruf X diganti dengan angka 2. Sedangkan “ABCD” diganti dengan Sistem Kelistrikan (lihat Tabel 2-8, Sistem

Kelistrikan merupakan Bab 2). Jadi judul laporannya menjadi BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN.

Begitu juga huruf-huruf X pada Subbab atau Sub-subbab di bawahnya diganti dengan angka 2.

Contoh lainnya, untuk Subtim Sistem Boiler, judul laporannya menjadi BAB 3 SISTEM BOILER dan huruf-huruf X lainnya diganti dengan angka 3. Demikian seterusnya untuk subtim-subtim lainnya, huruf-X dan “ABCD” diganti sesuai dengan yang tertera di dalam Tabel 2-8.



Gambar 2-10B. Contoh format untuk Tabel, Gambar, *Header*, *Footer*, dan Catatan Kaki.



## 2.5.2. Koordinasi Penyusunan Laporan

### 2.5.2.1. Pembagian Tugas

Pada tahap ini Manajer Tim Audit Energi melakukan pembagian tugas penyusunan laporan kepada masing-masing subtim audit energi. Contoh pembagian tugasnya dapat dilihat pada Tabel 2-8. Pada tabel tersebut tampak bahwa setiap bab sudah disebutkan penyusun atau penanggung-jawabnya. Jelas pula bahwa setiap subtim audit energi bertugas untuk menyusun laporan sesuai dengan lingkup tugasnya.

Tabel 2-8  
Contoh pembagian tugas penyusunan laporan audit energi

Bab	Judul	Penyusun atau Penanggung-jawab
	Kata Pengantar	Subtim Penyusun Laporan
	Ringkasan Eksekutif	Subtim Penyusun Laporan
1	Pendahuluan	Manajer Tim
2	Sistem Kelistrikan	Subtim Sistem Kelistrikan
3	Sistem Boiler	Subtim Sistem Boiler
4	Sistem Diesel-Generator	Subtim Sistem Diesel-Generator
5	Sistem Distribusi Uap	Subtim Sistem Distribusi Uap
6	Sistem Integrasi Proses	Subtim Sistem Integrasi Proses
7	Sistem <i>Chiller</i>	Subtim Sistem <i>Chiller</i>
8	Sistem Pompa	Subtim Sistem Pompa
9	Sistem Manajemen Energi	Subtim Sistem Manajemen Energi
10	Analisis Keseluruhan 10.1. Potensi Penghematan Energi 10.2. Analisis Awal Tekno-Ekonomi	Subtim Penyusun Laporan dan Sub-subtim audit energi
11	Kesimpulan dan Rekomendasi	Subtim Penyusun Laporan
	Lampiran	Subtim Penyusun Laporan

### 2.5.2.2. Pendistribusian Kerangka dan Format Laporan

Langkah berikutnya Subtim Penyusun Laporan mendistribusikan kerangka dan format laporan (Gambar 2-10A dan Gambar 2-10B) kepada setiap koordinator subtim audit energi.

### 2.5.2.3. Penyusunan Laporan

Masing-masing subtim audit energi menyusun laporan sesuai dengan yang dituliskan di dalam Tabel 2-8 serta berdasarkan kerangka dan format laporan yang telah diterimanya.

Penyusunan laporan juga dilakukan oleh Manajer Tim yang mendapat porsi menyusun Bab 1.

Laporan yang disusun sekaligus juga disertai dengan daftar kepustakaan dan lampiran-lampirannya. Beberapa foto kegiatan selama audit energi, diagram alir (*flowsheet*) proses produksi pabrik, diagram segaris kelistrikan (*single line diagram*), serta dokumen pendukung lainnya yang dianggap perlu, merupakan lampiran-lampiran yang sebaiknya dicantumkan di dalam laporan.

### **2.5.3. Penyusunan dan Finalisasi Laporan Gabungan**

Laporan yang telah diselesaikan oleh masing-masing subtim audit energi selanjutnya disatukan atau digabung oleh Subtim Penyusun Laporan. Penyatuan ini mengikuti kerangka laporan pada Gambar 2-9. Laporan yang sudah terkumpul adalah Bab 1 s.d 9.

Kumpulan laporan yang sudah disatukan ini diserahkan kepada Manajer Tim. Langkah berikutnya yang dilakukan oleh Manajer Tim dan/atau Subtim Penyusun Laporan adalah: (1) menulis Bab 10, yaitu Analisis Keseluruhan; (2) menulis Bab 11, yaitu Kesimpulan dan Rekomendasi; (3) menulis Ringkasan Eksekutif; (4) menulis Kata Pengantar; (5) menyusun daftar pustaka, lampiran, serta daftar isi laporan gabungan; dan (6) penyelesaian akhir laporan.

#### **2.5.3.1. Menulis Bab 10 (Analisis Keseluruhan)**

Manajer Tim dibantu (bila diperlukan) oleh para koordinator subtim audit energi menulis analisis keseluruhan.

Yang dimaksud analisis keseluruhan di sini adalah analisis yang merangkum dari analisis-analisis yang telah dituliskan oleh masing-masing subtim audit energi pada Bab-bab 2 s.d 9.

Penulisan analisis keseluruhan ini dimaksudkan untuk memudahkan pembaca, khususnya pemilik atau pengelola pabrik dalam membaca laporan ini. Dengan membaca bab mengenai analisis keseluruhan ini maka analisis pada masing-masing bab sebelumnya sudah terwakili.

Namun demikian, bila pembaca ingin mengetahui atau memeriksa analisis lebih rinci mengenai salah satu bab maka dapat membaca bab bersangkutan.

Analisis keseluruhan pada Bab 10 ini terdiri atas 2 bagian, yaitu mengenai analisis potensi penghematan energi dan analisis awal tekno-ekonomi.

Yang pertama, analisis difokuskan pada potensi-potensi penghematan energi yang diperoleh. Karena mengenai energi maka potensinya dinyatakan dalam satuan energi, misalnya Giga-calorie per tahun (Gcal/tahun) atau Giga-Joule per tahun (GJ/tahun) atau Giga-Watt-hour per tahun (GWh/tahun).

Dikarenakan satuan energi ini relatif sulit untuk dicerna - terlebih bila pembaca tidak berlatar-belakang teknik - maka potensi penghematan energi ini segera dilanjutkan untuk dikonversi atau diubah menjadi potensi penghematan biaya energi, misalnya dalam satuan miliar rupiah per tahun atau juta US Dollar per tahun. Dengan

satuan “ekonomi” ini maka pembaca dari semua disiplin ilmu akan dengan mudah dan cepat menangkap atau memahaminya.

Yang kedua, yakni analisis awal tekno-ekonomi sangat disarankan untuk dituliskan apabila pada analisis yang pertama (penghematan energi atau biaya) disinggung pula tentang perlunya investasi menengah atau tinggi. Untuk investasi rendah, analisis awal tekno-ekonomi tidak diperlukan.

#### **2.5.3.2. Menulis Bab 11 (Kesimpulan dan Rekomendasi)**

Seperti halnya pada penulisan analisis keseluruhan, penulisan kesimpulan dan rekomendasi oleh Manajer Tim juga perlu dibantu/didukung oleh para koordinator subtim audit energi.

Penulisan ini pada dasarnya juga merangkum kesimpulan-kesimpulan dan rekomendasi yang telah disampaikan oleh masing-masing subtim audit energi pada Bab-bab 2 s.d 9. Jadi, kesimpulan dan rekomendasi pada Bab 11 ini merupakan kesimpulan dan rekomendasi keseluruhan juga.

Dengan membaca Bab 11 para pembaca mendapat sajian kesimpulan dan rekomendasi atas audit energi yang dilakukan pada industri atau pabrik tersebut.

Seperti telah disebutkan di atas, kesimpulan atas potensi penghematan energi yang diperoleh juga dilanjutkan dengan dikonversi menjadi potensi penghematan biaya energi. Dengan demikian para pembaca, khususnya pemilik atau pengelola industri langsung mendapatkan besarnya angka penghematan biaya energi per satuan waktu.

Pemilik atau pengelola industri langsung dapat memutuskan apakah potensi penghematan biaya energi tersebut menarik untuk ditindaklanjuti.

Sebagai contoh, pabrik tersebut mengeluarkan biaya energi sebesar Rp10 miliar per bulan, misalnya. Sedangkan dari hasil audit energi disimpulkan terdapat potensi penghematan biaya energi sebesar Rp50 juta per bulan. Tentu saja potensi ini “tidak menarik” untuk ditindaklanjuti karena relatif kecil dibandingkan dengan pengeluaran Rp10 miliar per bulan. Lain halnya bila potensinya sebesar Rp500 juta per bulan atau lebih besar lagi, maka nilai ini tergolong menarik.

Demikian halnya dengan kesimpulan atas hasil analisis awal tekno-ekonomi. Nilai-nilai yang dihasilkan dari analisis ini akan dengan cepat ditangkap dan diputuskan oleh pihak pemilik atau pengelola pabrik untuk dilakukannya investasi.

#### **2.5.3.3. Menulis Ringkasan Eksekutif**

Ringkasan eksekutif yang dalam laporan ditempatkan di halaman depan setelah halaman Kata Pengantar merupakan lembar yang teramat penting untuk diabaikan. Melalui lembar ini para pembaca memperoleh informasi inti dari keseluruhan laporan. Pembaca langsung dapat mengetahui kesimpulan dan rekomendasi utama atas audit energi yang telah dilakukan.

Manajer Tim dan/atau Subtim Penyusun Laporan menyusun Ringkasan Eksekutif dengan mencuplik butir-butir penting atau utama dari Bab 11 (Kesimpulan dan

Rekomendasi). Bila Bab 11 (Kesimpulan dan Rekomendasi) merupakan hasil merangkum dari keseluruhan laporan, maka Ringkasan Eksekutif adalah hasil merangkum dari Bab 11 (Kesimpulan dan Rekomendasi). Atau dengan kata lain, Ringkasan Eksekutif adalah intisari dari laporan.

Hal yang disajikan di dalam Ringkasan Eksekutif, misalnya: a) kapasitas produksi pabrik per tahun, b) biaya energi pabrik per tahun disertai perbandingannya dengan biaya produksi per tahun, c) lingkup audit energi, d) potensi penghematan energi per tahun dan penghematan biaya energi per tahun, e) rekomendasi utama, dan f) nilai hasil analisis awal tekno-ekonomi.

Sajian di dalam Ringkasan Eksekutif diusahakan ringkas, padat, dan jelas. Untuk itu sangat disarankan panjang Ringkasan Eksekutif tidak lebih dari 1 halaman saja dan ditulis dengan ukuran huruf yang lebih besar dibandingkan ukuran huruf naskah laporan. Misal, laporan ditulis dengan ukuran huruf (*font*) 11, maka sebaiknya untuk Ringkasan Eksekutif ditulis dengan ukuran huruf 12.

#### **2.5.3.4. Menulis Kata Pengantar**

Manajer Tim dan/atau Subtim Penyusun Laporan menulis Kata Pengantar yang tentu saja isinya mengantarkan para pembaca dalam memahami laporan ini.

Kata Pengantar dapat berisikan latar belakang dilakukannya pekerjaan audit energi ini, target yang diharapkan dapat dicapai, cara melaksanakan pekerjaan ini, dan waktu yang digunakan dalam melaksanakan pekerjaan ini.

Seperti halnya Ringkasan Eksekutif, penulisan Kata Pengantar ini sangat disarankan secara ringkas, padat, dan jelas. Untuk itu juga disarankan agar panjang tulisannya tidak lebih dari 1 halaman.

#### **2.5.3.5. Menyusun Daftar Pustaka, Lampiran, serta Daftar Isi Laporan Gabungan**

Bersamaan dengan pelaksanaan pekerjaan pada butir 2.5 Subtim Penyusun laporan juga melengkapi laporan dengan: (a) menyusun daftar pustaka atau kepastakaan, (b) menyusun lampiran, dan (c) menyusun daftar isi laporan.

#### **2.5.3.6. Penyelesaian Akhir Laporan**

Hasil pekerjaan butir 2.5.2.1 sampai dengan 2.5.2.5 tersebut di atas selanjutnya dipadukan dan diakhiri dengan penjiilidan. Laporan ini disebut dengan Laporan Akhir atau Final Sementara. Disebut sementara karena laporan ini perlu dipresentasikan terlebih dahulu ke hadapan pemilik atau pengelola industri/pabrik.

#### **2.5.4. Penyerahan dan Presentasi Laporan Final Sementara**

Setelah laporan diserahkan kepada pemilik atau pengelola industri/pabrik selanjutnya pihak auditor berkoordinasi untuk menentukan waktu untuk mempresentasikan hasil pekerjaan audit energi tersebut.

Presentasi ini sangat perlu untuk dilakukan. Melalui forum presentasi ini para auditor energi dapat secara langsung menyampaikan dan menjelaskan hasil pekerjaannya sebagaimana ditulis di dalam laporan akhir sementara. Pihak pemilik atau pengelola industri juga berkesempatan untuk menanyakan hal-hal yang kurang atau tidak jelas di dalam laporan.

Hal yang paling penting adalah pihak pemilik atau pengelola industri dapat setuju dengan kesimpulan dan rekomendasi yang ditulis di dalam laporan. Kata “setuju” ini kadang dicapai setelah melalui suatu adu argumentasi yang alot. Tentu saja setelah pihak auditor dapat meyakinkan pihak pemilik atau pengelola industri atas butir-butir yang ditulis di dalam kesimpulan dan rekomendasi.

Apabila terdapat rekomendasi untuk melakukan investasi menengah atau tinggi, maka forum presentasi ini merupakan kesempatan yang baik bagi pihak auditor untuk menjelaskan atau meyakinkan pihak pemilik atau pengelola industri untuk secepatnya melangkah pada pekerjaan studi kelayakan atau FS (*feasibility study*). Melalui studi kelayakan ini maka analisis awal tekno ekonomi yang sudah dilakukan pada pekerjaan audit energi ini dapat lebih diperdalam lagi.

### 2.5.5. Penyerahan Laporan Final

Tahap terakhir dari rangkaian pekerjaan audit energi adalah penyerahan laporan final. Biasanya setelah acara presentasi dilalui, terdapat revisi atas laporan akhir/final sementara. Namun adakalanya tidak terdapat revisi.

Dengan mengingat judul laporannya adalah laporan final sementara, maka baik terdapat revisi maupun tidak terdapat revisi, laporan tetap diperbaiki. Untuk kondisi yang tidak terdapat revisi, perbaikannya adalah mengubah judulnya dengan menghilangkan kata “Sementara”, menjadi Laporan Final. Sedangkan untuk kondisi yang terdapat revisi sudah barang tentu perlu dilakukan revisi atas isi laporan tersebut. Setelah itu laporan diserahkan kepada pihak pemilik atau pengelola industri sebagai tanda berakhirnya pekerjaan audit energi ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1>
- [2] <http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603>
- [3] <http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hitester/16624-229279.html>. Akses: 24 Desember 2014
- [4] <http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547>
- [5] <http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013>
- [6] <http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4>

- [7] <http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V>
- [8] <http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/>
- [9] <http://distributorsarungtangan.com/>
- [10] <http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230>
- [11] <https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1>
- [12] <https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner>
- [13] [http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland\\_pro\\_men-s\\_8\\_titan\\_safety\\_toe\\_boots\\_cappucino.html](http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html)
- [14] <http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL>
- [15] <http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter>
- [16] <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current Transformer>
- [17] [http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-omsa\\_VGARD500rs](http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-omsa_VGARD500rs)
- [18] <http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/>
- [19] <http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992>
- [20] <http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html>
- [21] <http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html>
- [22] <http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992>
- [23] Marpaung, Parlindungan. 2014. *Naskah Pembekalan Auditor Energi*. Lembaga Sertifikasi Profesi. Jakarta.
- [24] Schneider Electric SPA et al. 2012. *Standard Energy Audit Procedure*. Green Hospital. <http://www.greenhospital-project.eu/wp-content/uploads/2012/04/D2-1.pdf>
- [25] Thumann, Albert, P.E, C.E.M dan William J. Younger, C.E.M. 2008. *Handbook of Energy Audit*. Seventh Edition. Georgia, Amerika Serikat: The Fairmont Press, Inc.



## BAB 3

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM KELISTRIKAN

Sudirman Palaloi  
Sarwo Turinno  
Zulramadhanie  
Louis

**R**angkaian kegiatan proses produksi di industri/pabrik (modern) tidak akan terlepas dari ketersediaan energi listrik. Dalam penggunaannya, energi listrik justru mendominasi dibandingkan dengan jenis energi lainnya, misalnya uap.

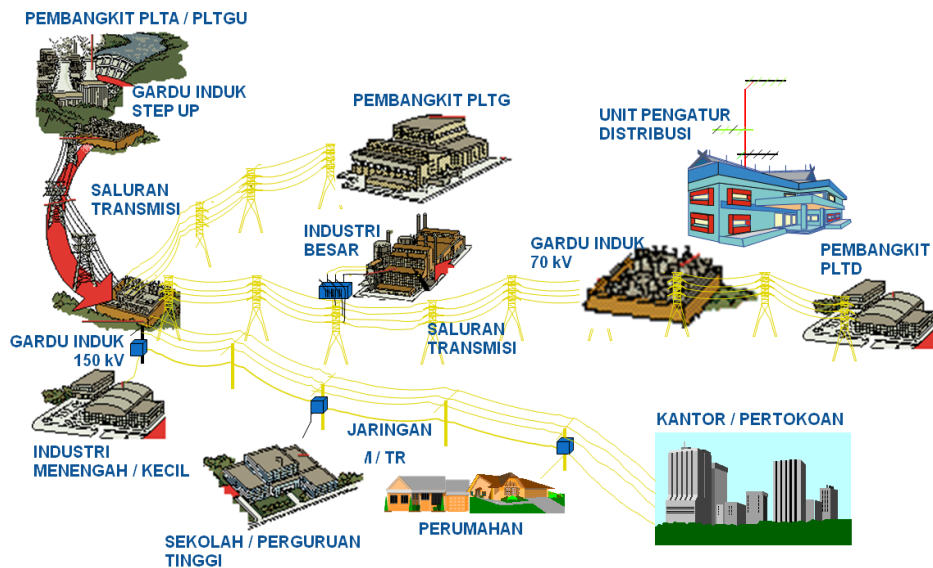
Dominasi energi listrik sebagaimana disebutkan di atas mudah dimengerti karena peralatan proses produksi terus diperbarui. Peralatan yang semula berbasis energi uap telah digantikan dengan energi listrik, misalnya pompa. Pergantian basis energi ini mengarahkan industri untuk menuju ke kondisi yang lebih praktis dan efisien.

Dalam perjalanannya, tingkat efisien yang sudah dirasakan oleh industri dengan peralihan ke peralatan berbasis energi listrik ini masih memungkinkan untuk lebih ditingkatkan lagi. Satu di antara upaya-upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan optimasi penggunaan energi listriknya. Setiap peralatan perlu dikaji kinerjanya agar diketahui secara pasti tingkat efisiensinya. Terhadap peralatan yang diketahui memiliki efisiensi rendah dapat diberikan solusinya: meningkatkan efisiensinya dengan perbaikan peralatan tersebut, termasuk perbaikan pola operasinya atau mengganti dengan jenis atau tipe yang baru sekiranya memang peralatan tersebut sudah tidak memungkinkan lagi untuk dinaikkan efisiensinya. Rangkaian kegiatan optimasi energi (listrik) tersebut di atas lazim disebut dengan audit energi.

Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah yang dilakukan dalam melaksanakan audit energi pada sistem kelistrikan. Uraianya didahului dengan gambaran mengenai sistem kelistrikan, kemudian dilanjutkan dengan pelaksanaan audit energi mulai dari persiapan hingga akhir, yakni penyusunan laporan.

### 3.1. PENGERTIAN SISTEM KELISTRIKAN

Sistem kelistrikan merupakan suatu kumpulan atau rangkaian yang mendistribusikan energi listrik dari sumber energi listrik ke peralatan-peralatan pengguna energi listrik. Dalam suatu sistem kelistrikan terdapat empat fungsi umum atau empat subsistem, yaitu: pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban. Tiap-tiap subsistem ini memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda-beda tetapi saling berhubungan. Subsistem pembangkitan memiliki fungsi membangkitkan atau menghasilkan energi listrik. Gambar 3-1 memperlihatkan secara sederhana sistem kelistrikan mulai dari pembangkit sampai dengan beban.



Gambar 3-1. Jaringan sistem tenaga listrik.

#### 3.1.1. Pembangkit Tenaga Listrik

Sampai dengan akhir tahun 2012 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai 45.253,47 MW. Ini terdiri atas pembangkit milik PT PLN (Persero) - selanjutnya disebut PLN - sebesar 33.221,14 MW dan Non-PLN sebesar 12.032,34 MW. Dibandingkan dengan tahun 2011 sebesar 39.898,96MW, maka kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik tahun 2012 naik sebesar 5.354,51 MW atau 13,4%. Kapasitas terpasang pembangkit dari PLTA 3.435 MW, PLTU 12.910 MW, PLTG 2.342 MW, PLTGU 7.288 MW, PLTP 506,5 MW, PLTD 1.597 MW, dan PLTS 4,66 MW.

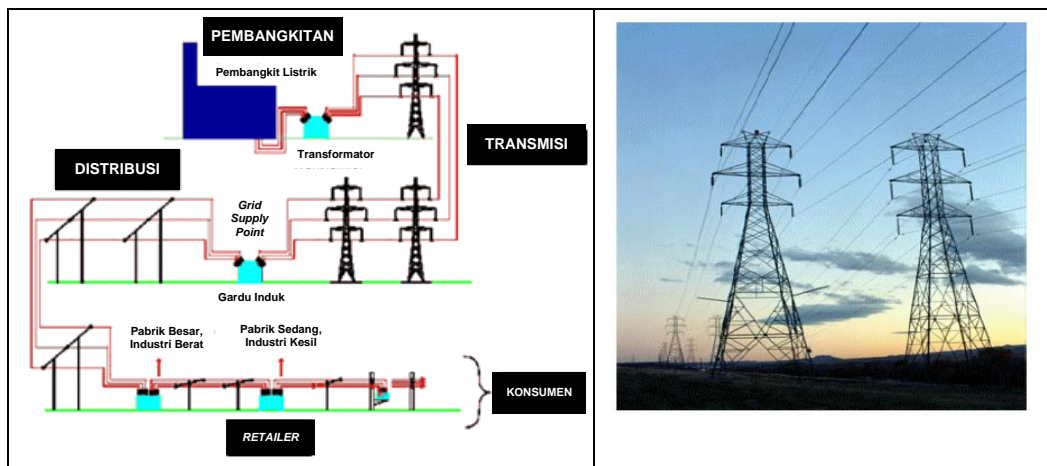
#### 3.1.2. Jaringan Transmisi dan Distribusi

Jaringan sistem kelistrikan di Indonesia terdiri atas Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi (JTET, 500 kV dan 273 kV), Jaringan Tegangan Tinggi (JTT, 150 kV), Jaringan Tegangan Menengah (JTM, 20 kV), dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR, 400 V).



Saat ini Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV hanya terdapat di Pulau Jawa sedangkan di Pulau Sumatera JTET 273 kV. Jaringan Tegangan Tinggi hampir terdapat di semua pulau di Indonesia. Jaringan Tegangan Menengah atau biasa dikenal jaringan distribusi tegangan menengah yang menghubungkan gardu-gardu induk dengan gardu distribusi yang dekat dengan pelanggan Jaringan Tegangan Rendah.

Pada akhir tahun 2012 total panjang jaringan transmisi 38.096,285 km, terdiri atas Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi (JTET, 500 kV) sepanjang 5.052 km dan Jaringan Tegangan Tinggi (JTT, 150 kV) sepanjang 33.044,285 km. Total jaringan distribusi 741.955,98 km yang terdiri atas Jaringan Tegangan Menengah (JTM, 20 kV) sepanjang 313.049,46 km dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR, 400 V) sepanjang 428.906,52 km.



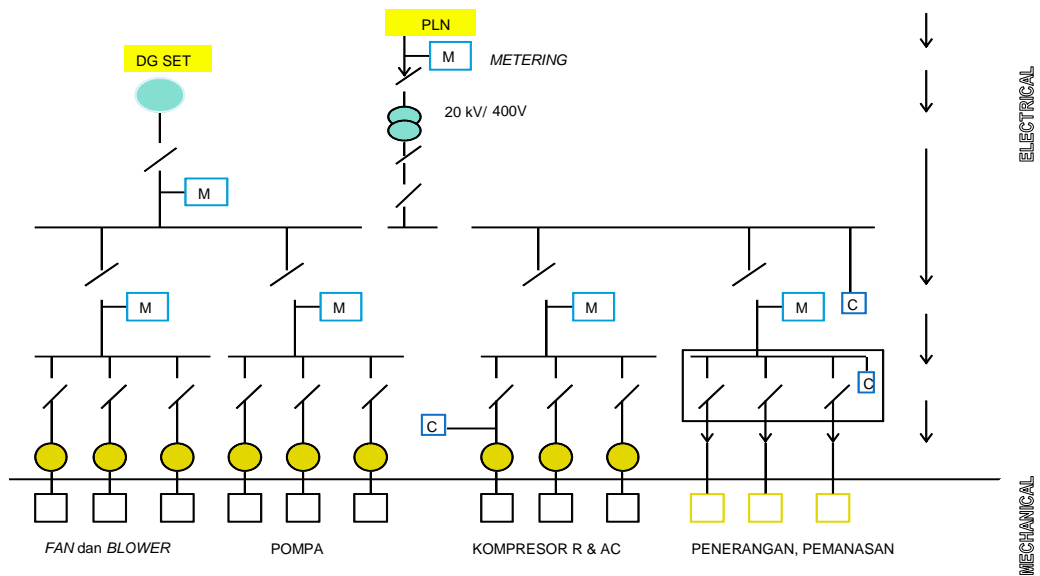
Gambar 3-2. Diagram jaringan sistem tenaga listrik.

### 3.1.3. Sistem Kelistrikan di Industri

Kebutuhan listrik di kawasan industri biasanya disuplai dari PLN ataupun dari pembangkit listrik swasta. Untuk mengantisipasi kemungkinan adanya pemutusan dari sumber utama, biasanya dilengkapi dengan pembangkit listrik cadangan.

Jenis kontrak daya di industri diklasifikasikan ke dalam Tarif-tarif I-1/TR (kapasitas daya 450 VA s.d 14 kVA), I-2/TR (14 kVA s.d 200 kVA), I-3/TM (di atas 200 kVA), dan I-4/TT (30.000 kVA ke atas). Secara sederhana diagram sistem kelistrikan di suatu industri diperlihatkan pada Gambar 3-3. Gambar ini dikenal dengan sebutan *single line diagram (SLD)*.

Begitu pentingnya keberadaan SLD kelistrikan bagi industri, hal ini dikarenakan semua informasi mengenai sistem kelistrikan di industri tersebut. Informasi yang dapat diperoleh dari SLD setidaknya meliputi: sumber energi listrik (PLN dan Diesel Generator), kapasitas kontrak daya, transformator, panel tegangan rendah, pemutus daya, dan distribusi beban. Informasi ini memudahkan bagi auditor untuk menentukan titik ukur, mengidentifikasi awal jenis beban, dan sistem distribusi listriknya.



Gambar 3-3. *Single Line Diagram* kelistrikan tipikal di industri.

### 3.1.4. Peluang dan Potensi Penghematan Energi Pada Sistem Kelistrikan

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan pada peralatan listrik yang ada di industri. Apabila peralatan yang menggunakan energi mempunyai efisiensi tinggi, maka energi listrik yang digunakan akan menjadi hemat. Beberapa peralatan yang menggunakan energi listrik seperti motor, pompa, *fan*, dan lampu. Berikut ini beberapa potensi penghematan yang dapat dilakukan pada sistem kelistrikan, motor listrik, dan pencahayaan.

#### 3.1.4.1. Sistem Tenaga Kelistrikan

- Optimalkan kontrak daya. Kontrak daya dapat dioptimalkan dengan cara menggunakan daya listrik sesuai dengan kontrak daya ke PLN;
- Penjadwalan pengoperasian peralatan untuk menjaga faktor daya yang tinggi;
- Menerapkan sistem *shift* pada waktu-waktu bukan beban puncak PLN. Karena pada saat beban puncak tarif listriknya dapat mencapai 2 x lipat;
- Menghindari penggunaan beban maksimum dengan pengaturan pembebanan;
- Memanfaatkan *soft start* peralatan listrik yang mempunyai arus *start* tinggi;
- Menerapkan energi alternatif terutama pada saat beban puncak PLN;
- Menggunakan kompensator daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya, paling tidak di atas 0,90;
- Pemasangan transformator agar lebih dekat dengan beban;
- *Set tap* transformator pada *setting* optimumnya;

- Putuskan hubungan sisi primer transformator pada saat tidak ada aktivitas pembebanan;
- Pertimbangkan kemungkinan pemanfaatan kogenerasi;
- Ekspor daya ke sistem pada saat beban rendah atau saat suplai daya berlebihan;
- Cek dan evaluasi penggunaan energi listrik secara periodik.

#### 3.1.4.2. Motor Listrik

Beberapa potensi penghematan pada motor listrik yang dapat dilakukan:

- Penggunaan motor listrik berefisiensi tinggi;
- Pembebanan motor listrik pada efisiensi optimumnya;
- Pengecekan *alignment*-nya;
- Pastikan bahwa sistem pendingin motor berfungsi dengan baik dan sempurna;
- Pengecekan motor beroperasi pada tegangan kerjanya;
- Pastikan bahwa suplai daya dalam keadaan seimbang;
- Pastikan bahwa efisiensi motor setelah gulung ulang tetap baik;
- Gunakan *variabel speed drive (VSD)* pada beban-beban yang bervariasi.

### 3.2. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM KELISTRIKAN

Persiapan sebagaimana dimaksudkan pada Subbab 3.2 ini dilaksanakan setelah diperoleh data awal informasi industri/pabrik yang akan diaudit energinya. Atau dengan kata lain, sebelum melakukan persiapan terlebih dahulu diperoleh data awal informasi industri/pabrik tersebut di atas. Data awal dimaksudkan di sini diperoleh dengan mengirimkan (atau melalui survei awal) Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran L 1-1) ke pabrik yang akan diaudit energinya.

Berdasarkan data pada Lampiran L 1-1, informasi penting yang diperoleh terkait dengan audit energi pada sistem kelistrikan adalah:

- Sumber energi listrik di pabrik (PLN dan/atau pembangkitan sendiri);
- Kontrak daya dari PLN dan/atau kapasitas pembangkitan sendiri;
- Jumlah dan kapasitas masing-masing transformator; dan
- *Single line diagram* pabrik yang akan diaudit energinya.

Dengan mengacu informasi penting tersebut di atas beberapa persiapan dapat dilakukan, yaitu:

1. Pembentukan tim dan pembagian tugas persiapan;
2. Persiapan administrasi dan teknis;
3. Persiapan dan pengarahan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3);
4. Mobilisasi personil dan peralatan.

### 3.2.1. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 3.2.1.1. Pembentukan Tim

Tim (kecil) atau auditor yang akan melaksanakan tugas dapat terdiri atas:

- 2 orang sarjana teknik elektro (1 orang selaku koordinator atau *lead auditor*, 1 orang lainnya selaku perekayasa/*engineer*):
  - arus kuat;
  - memahami *single line diagram*, transformator, motor-motor listrik, dan peralatan listrik lainnya yang berada di industri.
- 1 orang teknisi:
  - latar belakang pendidikan STM (SMK) listrik;
  - mampu memasang alat ukur dan merekam data listrik yang dibutuhkan untuk analisis nantinya.

#### 3.2.1.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a) Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b) Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c) Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem kelistrikan. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d) Menugaskan Perekayasa untuk mempersiapkan Lembar Isian Sistem Kelistrikan (lihat Lampiran 1-3) dan diserahkan kepada teknisi;
- e) Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem kelistrikan di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Kelistrikan; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri;
- f) Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g) Menyusun/menulis laporan;
- h) Apabila audit energi pada sistem kelistrikan ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i) Apabila audit energi pada sistem kelistrikan ini merupakan audit energi hanya pada sistem kelistrikan saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Perekayasa bertugas:

- a) Mengawasi dan memimpin teknisi dalam mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem kelistrikan. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b) Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Kelistrikan (lihat Lampiran 1-3) dan diserahkan kepada Teknisi Sistem Kelistrikan;
- c) Mengawasi dan memimpin teknisi dalam memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- d) Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- e) Membantu Koordinator dalam melakukan analisis dan menyusun/menulis laporan;
- f) Apabila audit energi pada sistem kelistrikan ini merupakan audit energi hanya pada sistem kelistrikan saja, maka perekayasa mendampingi Koordinator pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Teknisi bertugas:

- a) Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem kelistrikan. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b) Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- c) Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Kelistrikan (Lampiran L 1-3);
- d) Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem kelistrikan.

### **3.2.2. Persiapan Administrasi dan Teknis**

#### **3.2.2.1. Persiapan Administrasi**

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 3.2.1. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

#### **3.2.2.2. Persiapan Teknis**







Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.


Peralatan audit energi pada sistem kelistrikan terdiri atas peralatan-peralatan ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*). Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi sehingga akan menjamin ketepatan atau keakuratan nilai yang diperolehnya.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Rincian peralatan yang dipersiapkan dapat dilihat pada Gambar 3-4.

Alat Ukur	Pendukung	Keselamatan
 <p><b>Power Analyser</b> (HIOKI 3169-20/3169-21 Clamp on Power HiTESTER) (<a href="http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hitester/16624-229279.html">http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hitester/16624-229279.html</a>)</p>	 <p><b>Kabel-Gulung Listrik</b> (25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets) (<a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a>)</p>	 <p><b>Pelindung kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) (<a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a>)</p>
 <p><b>Current Transformer</b> (METSECT5VF060) (<a href="http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current Transformer">http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current Transformer</a>)</p>	 <p><b>Alat Kelistrikan</b> (Electric tool set) (<a href="http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1">http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1</a>)</p>	 <p><b>Kacamata keselamatan</b> (Hornets safety glasses) (<a href="http://www.1staidsupplies.com/product/s/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidsupplies.com/product/s/hornets-safety-glasses-992</a>)</p>

 <p><b>Clamp-on Power Meter</b> (Hioki 3285 Digital Clamp Meter) (<a href="http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter">http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter</a>)</p>	 <p><b>Kamera Digital</b> (<a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a>)</p>	 <p><b>Pelindung mulut dan hidung</b> (<a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a>)</p>
 <p><b>Digital Multimeter</b> (Fluke 787/EUR TRMS) (<a href="http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V">http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V</a>)</p>	 <p><b>Laptop</b> (<a href="http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013">http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013</a>)</p>	 <p><b>Sarung tangan listrik</b> (<a href="http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4">http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4</a>)</p>
 <p><b>Kamera infra-merah termografi</b> (<a href="https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner">https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner</a>)</p>		 <p><b>Pakaian keselamatan</b> (<a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a>)</p>
 <p><b>Lux Meter</b> (Lutron Digital Lux Meter) (<a href="http://sukm.indonetwork.co.id/2743076/lutron-lux-meter-lx-101a.htm">http://sukm.indonetwork.co.id/2743076/lutron-lux-meter-lx-101a.htm</a>)</p>		 <p><b>Sepatu keselamatan</b> (<a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a>)</p> <p><b>Lampu senter</b> (<a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a>)</p>

Catatan : Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Gambar 3-4. Peralatan untuk audit energi pada sistem kelistrikan.

### **3.2.3. Persiapan dan Pengarahan K-3**

Sebelum anggota tim diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, Koordinator wajib mengingatkan atau memberikan pengarahan di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau lazim dikenal dengan sebutan K-3. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

### **3.2.4. Mobilisasi Personil dan Peralatan**

Koordinator berkoordinasi dengan personil di industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## **3.3. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER**

Pada tahap pengumpulan data primer dan sekunder ini pengalaman atau “jam terbang” para auditor energi sangat menentukan. Semakin tinggi “jam terbang”-nya maka kualitas di samping kuantitas data yang dihasilkan akan semakin baik. Di samping itu, semakin tinggi “jam terbang” seorang auditor energi maka kemampuannya dalam “mengendus” adanya potensi penghematan energi semakin tinggi pula. Hal ini akan sangat bermanfaat pada saat dituangkan dalam laporan, khususnya pada subbab analisis.

Tahap pengumpulan data primer dan sekunder sering pula disebut dengan tahap pengukuran. Hal ini dikarenakan pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data primer. Misalnya, untuk mendapatkan data konsumsi energi listrik selama 3 x 24 jam, auditor perlu melakukan pengukuran secara langsung.

Pengukuran dilaksanakan tanpa mengganggu aktivitas pabrik. Artinya, selama dilakukan pengukuran, sistem kelistrikan di pabrik tetap beroperasi sebagaimana mestinya.



### 3.3.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Sebelum kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder dilaksanakan, tim auditor disarankan untuk melakukan prosesi pembukaan kepada pemilik atau pengelola industri - lazim disebut dengan *auditee* atau pihak yang akan diaudit - sebagaimana layaknya seorang tamu. Langkah pembukaan ini merupakan langkah awal yang akan mengantarkan auditor melaksanakan langkah kegiatan selanjutnya.

Pada rapat pembukaan/*opening meeting*, auditor harus mampu memaparkan data-data kelistrikan yang dibutuhkan. Di samping itu pengenalan tim survei/audit, pemaparan latar belakang, maksud, tujuan dan lingkup survei, pemaparan tim *auditee* tentang sistem yang disurvei dan pemaparan agenda survei. Perkenalan tim auditor sistem kelistrikan dan tim *auditee* dilakukan pula pada acara ini. Pengenalan tim dimaksudkan agar masing-masing pihak dapat mengetahui siapa saja yang akan melakukan survei lapangan.

Dalam pengenalan tim, ketua tim survei harus memperkenalkan nama anggota tim, posisi serta tugasnya di dalam survei. Jika diperlukan, dapat ditambahkan latar belakang dan kompetensi anggota tim, supaya komunikasi dengan pihak *auditee*/obyek survei dapat lebih mudah. Dari pihak *auditee*, harus diperkenalkan juga siapa yang bertanggungjawab dan mendampingi dalam pengumpulan data sistem kelistrikan.

Auditor sistem kelistrikan memaparkan tentang data-data sekunder yang dibutuhkan termasuk data peralatan listrik, data penggunaan energi listrik, spesifikasi peralatan, dan catatan operasional pabrik (*log sheet*). Auditor juga menyampaikan titik-titik pengukuran yang akan dilakukan, baik secara *online* maupun secara sesaat atau *spot*.

### 3.3.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Pelaksanaan pengumpulan data primer dan sekunder merupakan salah satu rangkaian dari kegiatan audit energi yang sangat menentukan. Kegiatan ini mencakup pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder. Data primer adalah data yang diukur/diambil secara langsung oleh auditor. Sedangkan data sekunder merupakan data yang selama ini dicatat dan dilaporkan oleh *auditee*, termasuk data spesifikasi peralatan.

Data sekunder bisa berupa rekening listrik, *single line diagram*, spesifikasi peralatan, nama peralatan, dan beberapa data hasil pengukuran yang telah diolah oleh *auditee*. Dalam pelaksanaan audit energi ini, tim auditor harus didampingi oleh tim *auditee* yang paham sistem kelistrikan industri tersebut. Pelaksanaan survei dilakukan sesuai dengan jadwal/agenda yang telah disepakati pada saat pertemuan pembukaan. Perlu dipastikan kesiapan *auditee* untuk menyediakan semua data yang diperlukan selama survei lapangan berlangsung.

Selama pelaksanaan survei lapangan, auditor wajib menggunakan alat bantu keselamatan, seperti helm, penutup telinga (*earplug*), sepatu keselamatan (*safety shoes*), masker, dan lain-lain sesuai dengan apa yang dipersyaratkan oleh *auditee*

untuk melakukan aktivitas di lingkungan kerja perusahaan. Jika diperlukan persyaratan-persyaratan khusus untuk auditor dalam melaksanakan survei, maka persyaratan-persyaratan tersebut harus dipersiapkan terlebih dahulu dan mendapat persetujuan dari pihak *auditee*.

Pada prinsipnya pelaksanaan survei lapangan bertujuan untuk melakukan pengumpulan serta verifikasi data primer dan data sekunder yang akan digunakan untuk melakukan analisis. Berdasarkan hasil analisis terhadap data primer dan sekunder tersebut kemudian ditarik kesimpulan hasil audit dan dikeluarkan rekomendasi-rekomendasi perbaikan ke depan. Oleh karena itu setiap data yang diperoleh harus dapat dipertanggungjawabkan dan dikonfirmasi kepada *auditee* untuk diminta persetujuan menggunakan data tersebut sebagai basis untuk melakukan analisis.

Selain itu, semua data yang diperoleh harus melalui proses verifikasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa data tersebut adalah valid dan layak untuk digunakan pada proses analisis selanjutnya. Data primer merupakan data yang dikumpulkan atau diambil secara langsung oleh tim auditor. Data-data berupa foto-foto dan data listrik dengan melakukan pengukuran. Pengumpulan data primer dilakukan pada lokasi yang telah ditentukan dengan menggunakan peralatan ukur dan metoda pengukuran yang disepakati dengan *auditee* sebelumnya. Pengambilan data primer dapat dilakukan secara *spot* ataupun secara *online* sesuai dengan karakteristik data yang diperlukan dan kebutuhan untuk analisis. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang dibawa sendiri atau alat ukur yang terpasang di lapangan dengan syarat alat ukur tersebut dipastikan dapat bekerja secara normal dan telah dikalibrasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Saat melakukan pengukuran tidak diperbolehkan terjadi pemutusan suplai daya sehingga tidak mengganggu proses produksi.

### 3.3.2.1. Pengumpulan Data Primer

#### A. Data yang Dibutuhkan

Untuk sistem kelistrikan, data-data yang dibutuhkan adalah data total penggunaan daya listrik yang masuk pabrik, baik yang disuplai oleh PLN maupun daya listrik yang disuplai dari pembangkit sendiri. Parameter listrik bukan hanya berupa arus dan tegangan, tetapi data daya (aktif, reaktif, semu) dan juga faktor dayanya. Pengukuran kualitas daya listrik juga sangat diperlukan, untuk mengetahui adanya harmonik dan distorsi listrik, baik tegangan maupun arus dalam bentuk THD V (*Total Harmonic Distorsion-Voltage*) atau THD-I (*Total Harmonic Distorsion- Intensité/ Current*). Data penggunaan energi listrik tentunya ditujukan pada peralatan-peralatan yang menggunakan listrik cukup besar dan kemungkinan potensi penghematan energinya. Lampiran 1-3 dapat digunakan sebagai panduan atas data kelistrikan yang dibutuhkan.

## B. Periode Pengukuran

Periode pengukuran dan pengambilan data ini juga sangat penting untuk diketahui. Umumnya untuk mengetahui profil penggunaan energi listrik total yang masuk ke dalam pabrik, pengukuran pada *main incoming power* dapat dilakukan setidaknya selama 3 - 7 hari dengan *scanning rate* 1 menit. Hal ini penting untuk mengetahui kurva beban harian dan mingguan. Dengan cara ini dapat diketahui adanya perbedaan penggunaan daya siang dan malam hari, serta hari kerja dan hari libur.

Untuk beban-beban yang sifatnya konstan sepanjang hari, seperti penggunaan listrik untuk *heater*, motor yang bebannya tetap, biasanya hanya diperlukan pengukuran *spot* atau sesaat yang sebaiknya dilakukan lebih dari sekali. Pada motor yang bebannya variatif, diperlukan pengukuran secara *on-line* setidaknya selama 24 jam.

## C. Penentuan Titik Pengukuran

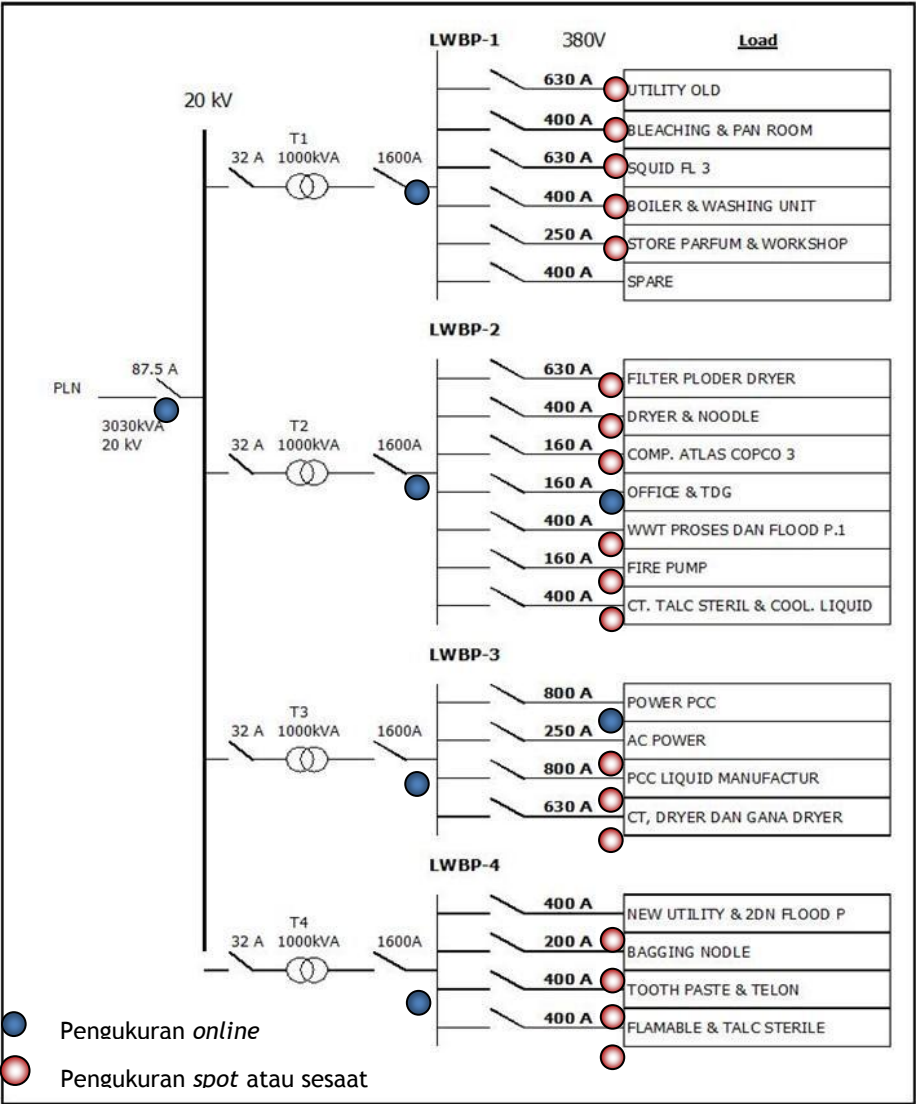
Salah satu hal yang sangat menentukan sukses tidaknya pengambilan data adalah titik pengukuran. Titik pengukuran untuk pengambilan data primer perlu diperhatikan dan dipastikan bahwa pada titik tersebut dapat mewakili sistem atau peralatan yang akan diaudit. Titik pengukuran yang sering dilakukan adalah *incoming power* pada panel utama tegangan menengah pada sisi industri yang diaudit bila memungkinkan. Kemudian *outgoing* ke masing-masing trafo ataupun bisa dilakukan pengukuran pada *incoming* pada panel tegangan rendah yang merupakan *outgoing* dari transformator.

Pengukuran juga perlu dilakukan pada masing-masing penyulang/*feeder* untuk mengetahui distribusi penggunaan energi listriknya berdasarkan jenis beban. Salah satu hal yang tidak boleh dilupakan adalah pengukuran penggunaan energi listrik pada motor-motor listrik yang dioperasikan yang kemungkinan dapat diterapkan pengaturan putaran dengan *variabel speed drive* atau *inverter*. Gambar 3-5 memperlihatkan contoh pemasangan alat ukur pada suatu industri.

Lokasi pemasangan alat ukur harus disepakati dengan *auditee*. Jika diperlukan tambahan pekerjaan untuk pemasangan alat ukur harus disetujui oleh pihak *auditee* dan dikerjakan sebelum survei lapangan dilaksanakan. Pemasangan peralatan ukur harus didampingi oleh pihak *auditee* atau jika memungkinkan dilakukan oleh pihak *auditee* dengan supervisi dari auditor. Setiap data primer yang diperoleh dicatat dan dimasukkan ke dalam berita acara pengumpulan data primer untuk disampaikan dan disetujui oleh pihak *auditee* pada saat pertemuan penutup.

Pengukuran untuk menentukan efisiensi transformator dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu langsung dan tidak langsung. Metode langsung sangat praktis dan sederhana. Dengan mengetahui daya *input*, yaitu daya yang masuk pada sisi tegangan primer dan daya yang keluar pada sisi sekunder, efisiensi dapat ditentukan dengan menggunakan konfigurasi Gambar 3-6 (a). Namun demikian peralatan ukur lebih lengkap dibanding dengan cara tidak langsung, karena memerlukan trafo arus dan trafo tegangan pada sisi tegangan tingginya (20 kV). Konfigurasi titik-titik pengukuran

dapat dilihat pada Gambar 3-6. Sedangkan Gambar 3-6(b) merupakan pengukuran untuk menentukan efisiensi transformator secara tidak langsung.

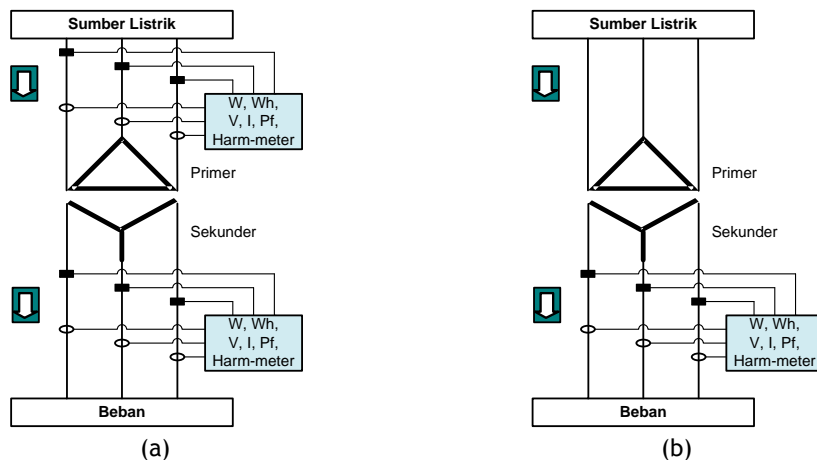


Gambar 3-5. Penentuan titik pengukuran sistem kelistrikan.

**D. Pelaksanaan Pengukuran**

Pada saat pelaksanaan pengukuran di lapangan, auditor harus memastikan bahwa cara pemasangan alat ukur sudah benar, sesuai, dan tepat. Apabila pengambilan arus dilakukan dengan *tapping* arus dari alat CT (*current transformer*) yang terpasang, maka pastikan bahwa pemasangan CT alat ukur sudah sesuai dengan fasa dan polaritasnya. Amper-meter *existing* mempunyai 2 terminal, yang satu adalah arus

masuk dari CT dan yang lainnya adalah terminal netral. Salah satu cara membedakan terminal input dari CT dan terminal netral adalah netralnya di hubungan *short* ketiga terminal Ampere tersebut. Fasa R biasanya berada paling kiri, fasa S di tengah, dan fasa T paling kanan. *Clamp on* CT alat ukur harus dipastikan sudah ter-*plug* dan rapat. Apabila arus listrik diukur secara langsung dengan CT alat ukur, maka pastikan bahwa kemampuan arus CT yang digunakan lebih besar daripada arus yang mengalir pada kabel listrik atau beban.



Gambar 3-6. Titik pengukuran untuk menentukan efisiensi:  
(a) langsung, (b) tidak langsung

Kemudian pasang sensor/kabel tegangan alat ukur pada fasa yang tepat. Bila memungkinkan, tegangan dapat diambil pada *busbar* ataupun pada *skun* terminal masuk *Circuit Breaker*. Fasa R biasanya berwarna merah, fasa S berwarna kuning, dan fasa T berwarna biru/hitam.

Apabila sensor arus dan tegangan alat ukur sudah terpasang dengan baik, maka pada alat ukur, *setting type wiring*, perbandingan tegangan, tipe sensor CT, *range* CT, dan perbandingan CT. *Setting* parameter yang akan diukur, *setting* waktu pengukuran, interval, serta lokasi tempat penyimpanan data. Pastikan bahwa alat ukur yang sudah terpasang telah mengukur semua parameter listrik yang dibutuhkan dan dapat menyimpan dengan baik pada *PC card* (contoh pengukuran dengan menggunakan *Power Hi-Tester Analyser* merek HIOKI).

## E. Evaluasi Awal Hasil Pengukuran

Evaluasi data awal hasil pengukuran dapat dilakukan di lokasi tempat pengambilan data. Hal ini penting untuk memastikan bahwa data yang terukur sudah menggambarkan konsumsi listrik terhadap peralatan atau sistem yang diukur. Evaluasi awal hasil pengukuran ini bisa didiskusikan dengan orang yang mengetahui peralatan yang kita ukur atau bisa juga bandingkan dengan spesifikasi peralatan yang diukur.

### 3.3.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

#### A. Data Sekunder yang Dibutuhkan

Pengumpulan data sekunder dapat berupa *single line diagram*, *wiring diagram*, rekening listrik PLN, data penggunaan daya yang selama ini dicatat oleh operator, data peralatan listrik berupa transformator, motor listrik, dan beban listrik lainnya. Data produksi, data proses produksi, diagram alir proses produksi (*processs flow diagram*), spesifikasi peralatan utama dan peralatan pendukung, spesifikasi bahan baku dan produk, dan lain-lain. Setiap data sekunder yang didapatkan harus dikonfirmasi kepada *auditee* bahwa data tersebut merupakan data dengan sumber data yang dapat dipertanggungjawabkan.

Data sekunder apa saja yang dikumpulkan sebaiknya sudah ditentukan dan disampaikan kepada *auditee* sebelum pelaksanaan survei. Dengan demikian, *auditee* sudah dapat menyiapkan bahan-bahannya terlebih dahulu dan pada saat survei lapangan auditor tinggal melakukan proses klarifikasi dan verifikasi data sekunder. Pada sistem kelistrikan data sekunder yang paling penting meliputi:

- Penggunaan energi listrik bulanan selama 2 s.d 3 tahun terakhir dari rekening listrik PLN
- Diagram satu garis/*Single Line Diagram*
- *Wiring diagram*
- Data transformator
- Data motor listrik
- Data pencahayaan/lampu
- Data beban lainnya
- Data proses produksi
- Diagram sistem tata udara/pendingin
- Diagram sistem penyediaan dan pengolahan air

#### B. Cara Pengumpulan Data

Cara pengumpulan data dapat berupa kuesioner, foto kopi, *copy file*, dan wawancara. Kuesioner disusun dan dikirimkan kepada pihak *auditee* sebelum survei lapangan dilakukan, kemudian dilakukan verifikasi pada saat survei lapangan. Kuesioner yang disusun setidaknya meliputi:

- ✓ Data Umum Perusahaan
  - Nama, alamat, struktur organisasi, sejarah, dan lain-lain
  - Data penyediaan dan penggunaan energi (bulanan, tahunan)
  - Bahan bakar (jenis, biaya, dan volume penggunaan)
  - Penggunaan energi (per lokasi, per alat)
  - Rekening listrik selama 3 tahun terakhir
  - Biaya energi (kontrak, biaya satuan)
- ✓ Status Manajemen Energi

- Komitmen manajemen (kebijakan, organisasi, personil)
- Audit energi dan evaluasi kinerja
- Program efisiensi energi
- Sistem *monitoring* penggunaan energi
- Peningkatan kesadaran (sosialisasi, kampanye, insentif, disinsentif)

Fotokopi *single line diagram*, rekening listrik, dan peralatan listrik lainnya sangat penting untuk menghemat waktu. Beberapa industri juga telah menyediakan data-data sekunder dalam bentuk *soft file*. Bila memungkinkan dapat dilakukan *copy file* dalam bentuk *soft*. Ini jauh lebih hemat waktu dan datanya agar persis sama. Pengumpulan data sekunder dilakukan saat Tim masih berada di lokasi. Hal ini sangat diperlukan untuk memastikan apakah data sekunder yang didapatkan sudah cukup dan memadai.

### 3.3.3. Verifikasi/Klarifikasi Data Hasil Audit Energi

Verifikasi didefinisikan sebagai penyediaan bukti objektif bahwa item yang diberikan memenuhi persyaratan yang ditentukan (ISO/IEC Guide 99:2007). Dalam konteks tersebut, maka verifikasi data sekunder dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh adalah berdasarkan sumber data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan akurasi datanya. Berdasarkan definisi tersebut, maka verifikasi data sekunder setidaknya memiliki dua aspek yang penting, yaitu: kepastian mengenai validitas sumber data dan tingkat akurasi data.

#### 3.3.3.1. Validitas Sumber Data

Untuk menjamin bahwa data sekunder diperoleh dari sumber data yang valid, maka verifikasi dilakukan dengan memastikan bahwa data sekunder yang diperoleh berasal dari sumber yang legal dan sah. Setiap data sekunder yang diperoleh harus disebutkan asal sumber data dan didukung oleh bukti dokumen yang sah.

#### 3.3.3.2. Tingkat Akurasi Data

Tingkat akurasi data khususnya data yang sifatnya kuantitatif, sangat terkait dengan metode dan alat ukur yang digunakan. Dalam proses verifikasi data sekunder, harus dilakukan klarifikasi mengenai metode dan alat ukur yang digunakan untuk mengukur data. Setiap alat ukur harus berfungsi dengan baik dan memiliki riwayat kalibrasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Jika memungkinkan, verifikasi menyediakan sarana untuk memeriksa bahwa deviasi antara nilai-nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur dan nilai-nilai yang sesuai diketahui kuantitas yang diukur secara konsisten lebih kecil dari kesalahan maksimum yang ditetapkan dalam standar, regulasi, atau spesifikasi yang khas bagi pengelolaan peralatan pengukuran. Hasil verifikasi mengarah pada keputusan, baik untuk mengembalikan dalam pelayanan, melakukan penyesuaian, atau perbaikan, atau untuk *downgrade*, atau untuk mendeklarasikan ulang. Dalam semua kasus diperlukan bahwa jejak tertulis

dari verifikasi yang dilakukan harus disimpan pada catatan individu instrumen pengukuran.

### 3.3.4. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setiap data primer dan data sekunder yang diperoleh dicatat untuk selanjutnya dibuat daftar perolehan data primer dan data sekunder yang akan disampaikan pada saat proses pelaksanaan survei selesai dilakukan atau *closing meeting*. Dalam hal ada data-data yang tidak dapat dikumpulkan karena alasan-alasan tertentu, harus dicatat dan disampaikan kepada *auditee* pada saat pertemuan penutup dilakukan. Penyerahan data susulan dapat dilakukan setelah pelaksanaan survei melalui jalur formal yang disepakati dengan pihak *auditee* pada saat pertemuan penutup.

## 3.4. ANALISIS DATA HASIL SURVEI LAPANGAN

### 3.4.1. Sumber Energi Listrik

Energi listrik yang digunakan harus dituliskan sumbernya, baik sebagai sumber utama maupun sumber cadangan. Data-data tentang penggunaan energi listrik melalui rekening listrik PLN sangat penting. Informasi tersebut berupa besar kontrak daya, nomor pelanggan, jenis tarif, serta pembangkit listrik cadangan. Berikut ini disajikan contoh analisis penggunaan energi listrik bulanan pada suatu industri.

Energi listrik disuplai dari PLN dengan kapasitas 3.030 kVA, pada tegangan menengah 20 kV. Jenis tarif I-3. Apabila PLN mengalami gangguan, maka perusahaan ini dilengkapi dengan 3 unit genset dengan spesifikasi masing-masing kapasitas 3 X 1.250 kVA, 380V, pf 0,8, 1500 rpm. Dengan demikian total kapasitas genset adalah 3.750 kVA (3.000 kW). Untuk mengubah tegangan dari 20 kV menjadi 400 Volt, maka di perusahaan ini terdapat 3 unit trafo berkapasitas 3 x 2.000 kVA, 20/0,4 kV.

### 3.4.2. Informasi Tarif Listrik

Tarif listrik di Indonesia dikelompokkan ke dalam beberapa jenis pelanggan, seperti Pelanggan jenis Industri (I), Bisnis (B), Pemerintahan (P), Rumah Tangga (R), dan Sosial (S). Harga listriknya dikelompokkan ke dalam beberapa blok yaitu blok I, II, dan III. Di samping itu, untuk pelanggan besar dikenakan pula aturan harga tarif berdasarkan waktu pemakaian yaitu Waktu Beban Puncak atau WBP (pkl. 18:00 - 22:00) dan Luar Waktu Beban Puncak atau LWBP (pkl. 22:00 - 18:00).

Seorang auditor perlu mengetahui tarif listrik yang diberlakukan dan mampu menghitung besar energi yang digunakan serta biaya energinya. Tabel 3-1 memperlihatkan salah satu rekening listrik di Industri. Pada tabel tersebut diperlihatkan bahwa komponen biaya listrik terdiri atas biaya beban, biaya pemakaian pada WBP dan LWBP, biaya akibat denda kelebihan kVARh, dan biaya PPJ.



### Contoh Rekening listrik Tarif Industri I-3

546100087884  
Desember 2014  
I3/3030 VA  
4000/4000/1

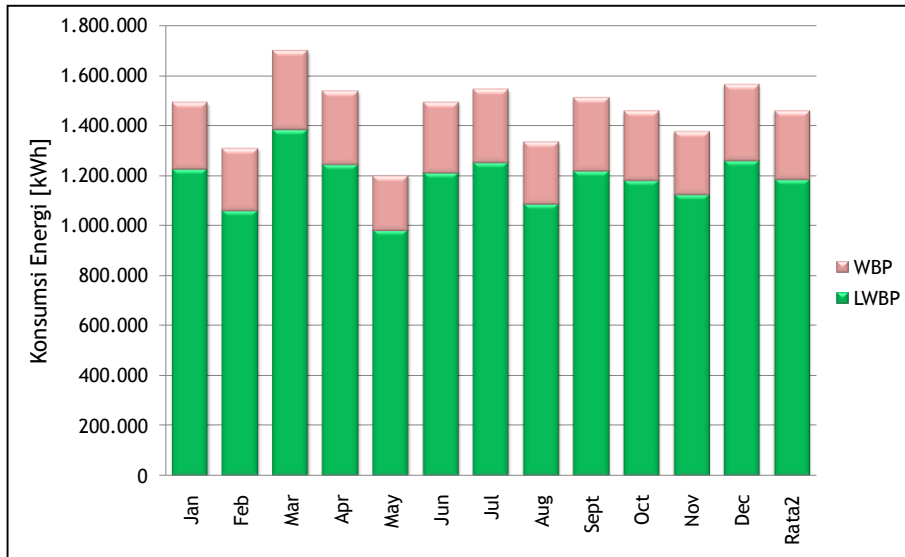
**Catatan:** nilai pemakaian kVArh (P) lebih kecil dari pada  $0.62^* (J)$ , sehingga tidak ada biaya kelebihan kVArh

### 3.4.3. Analisis Penggunaan Energi Listrik Bulanan

Data dari rekening listrik ataupun data energi yang selama ini dicatat dapat dibuat dalam bentuk tabulasi. Data bulanan setiap tahun yang terdiri atas bulan, penggunaan energi saat waktu beban puncak, luar waktu beban puncak (LWBP), serta faktor daya dibuatkan dalam bentuk tabel (lihat Tabel 3-2). Agar tampak lebih jelas profil penggunaan energi dan biayanya maka dapat dibuatkan dalam bentuk grafik.

Data konsumsi energi listrik bulanan selama 1 tahun

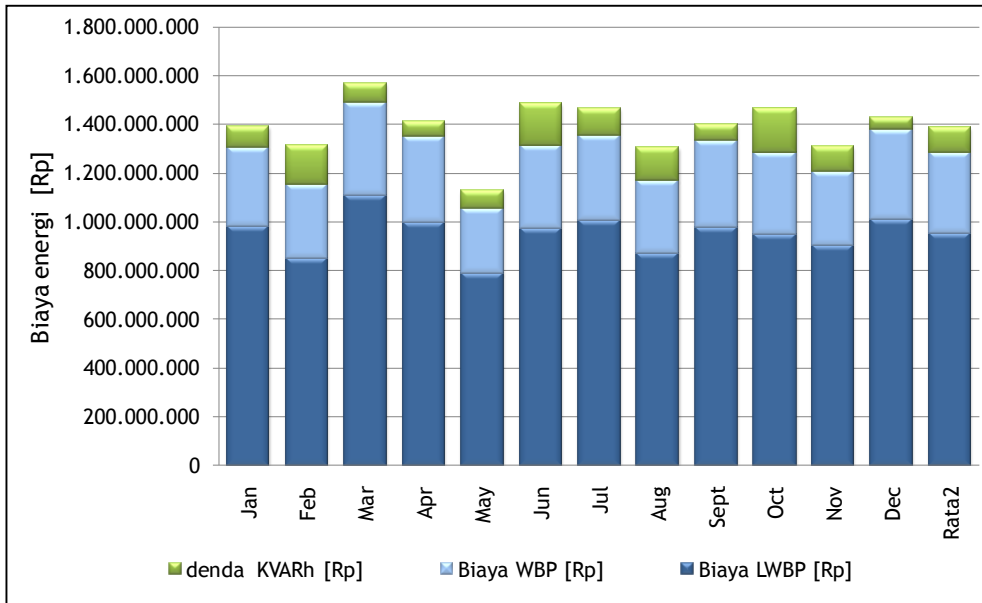
Bulan	Konsumsi Energi, [kWh]		kVARh	Total, [kWh]	Faktor daya
	LWBP	WBP			
Jan	1.220.799,6	267.980	980.082	1.488.780	0,84
Feb	1.057.930,6	251.389	921.085	1.309.320	0,82
Mar	1.379.303,3	317.257	1.102.025	1.696.560	0,84
Apr	1.241.167,8	293.032	990.785	1.534.200	0,84
Mei	980.424,0	221.076	795.031	1.201.500	0,83
Jun	1.208.341,8	283.438	1.045.083	1.491.780	0,82
Jul	1.249.832,1	291.268	1.029.695	1.541.100	0,83
Ags	1.082.964,8	249.095	917.442	1.332.060	0,82
Sept	1.213.376,2	295.564	979.320	1.508.940	0,84
Okt	1.178.696,8	278.283	1.030.074	1.456.980	0,82
Nov	1.122.359,0	253.081	922.724	1.375.440	0,83
Des	1.255.662,5	305.777	998.833	1.561.440	0,84
Rata2	1.182.571,5	275.603	976.0145	1.458.175	0,83
Total	14.190.858,5	3.307.241	11.712.179	17.498.100	



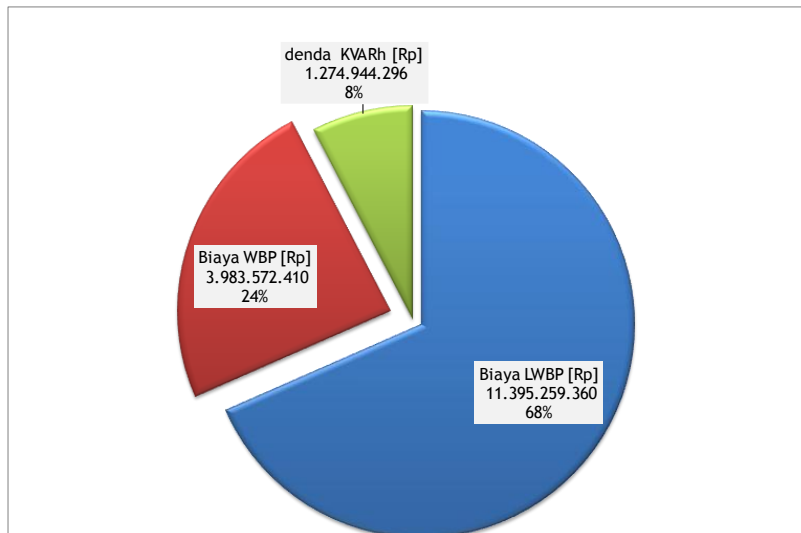
Gambar 3-7. Grafik konsumsi energi listrik bulanan selama 1 tahun.

Tabel 3-3  
Data biaya energi listrik bulanan selama 1 tahun

Bulan	Biaya Energi Listrik, [Rp]		kVARh, [Rp]	Total Biaya, [Rp]	Harga Energi, [Rp/kWh]
	LWBP	WBP			
Jan	980.302.079	322.782.392	85.495.700	1.388.580.171	932,70
Feb	849.518.240	302.798.580	157.971.964	1.310.288.785	1000,74
Mar	1.107.580.534	382.135.719	76.654.888	1.566.371.141	923,26
Apr	996.657.743	352.957.285	61.233.413	1.410.848.442	919,60
Mei	787.280.472	266.286.042	74.693.024	1.128.259.538	939,04
Jun	970.298.465	341.401.312	173.883.695	1.485.583.473	995,85
Jul	1.003.615.176	350.832.186	109.732.498	1.464.179.860	950,09
Ags	869.620.718	300.035.192	133.225.061	1.302.880.971	978,09
Sept	974.341.077	356.006.615	67.010.364	1.397.358.055	926,05
Okt	946.493.546	335.192.090	182.943.878	1.464.629.514	1005,25
Nov	901.254.309	304.836.016	103.137.690	1.309.228.015	951,86
Des	1.008.297.000	368.308.980	48.962.121	1.425.568.101	912,98
Rata2	949.604.946	331.964.367	106.245.358	1.387.814.672	952,96
Total	11.395.259.359	3.983.572.410	106.245.358	16.653.776.066	



Gambar 3-8. Profil biaya listrik bulanan selama 1 tahun.



Gambar 3-9. Komposisi biaya energi listrik

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa setiap tahun ada kecenderungan konsumsi energi listrik naik. Konsumsi energinya adalah 17.498.100 kWh/tahun yang terdiri atas 14.190.858 kWh (81%) digunakan pada saat luar waktu beban puncak dan 3.307.241,5 kWh (19%) pada saat waktu beban puncak.

Terjadi fluktuasi penggunaan energi setiap bulannya. Hal ini dipengaruhi oleh ketersediaan energi listrik, jumlah produksi, serta *running time* pabrik. Faktor daya yang terjadi rendah, yaitu berada pada rentang 0,82 sampai dengan 0,84.

Biaya yang dikeluarkan selama setahun adalah Rp16.653.776.066. Biaya ini terdiri atas biaya energi Rp15.378.831.410 (92%) dan denda akibat penggunaan kVARh yang berlebihan sebesar Rp1.274.944.296 (8%).

Harga energi rata-rata Rp953/kWh. Harga energi pada saat LWBP adalah Rp803/kWh dan saat WBP Rp1.204,5/kWh dan denda kelebihan pemakaian kVARh adalah Rp864/kVARh.

Pengurangan biaya energi dapat dilakukan dengan cara mengoperasikan beberapa peralatan pada saat LWBP yang harganya lebih rendah sekitar 66,6% dari WBP. Ditemukan adanya denda kelebihan pemakaian kVARh dari PLN, karena penggunaan kVARh yang besar akibat faktor daya yang kurang dari 0,85. Oleh karena itu perlu pemasangan *capacitor bank*.

Perhitungan faktor daya dapat dilakukan dengan cara seperti berikut ini.

$$\text{Faktor daya, } \cos \phi = \frac{\text{kWh}_{\text{total}}}{\sqrt{\text{kWh}_{\text{total}}^2 + \text{kVARh}_{\text{total}}^2}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Sedangkan untuk menghitung denda akibat kelebihan kVARh adalah:

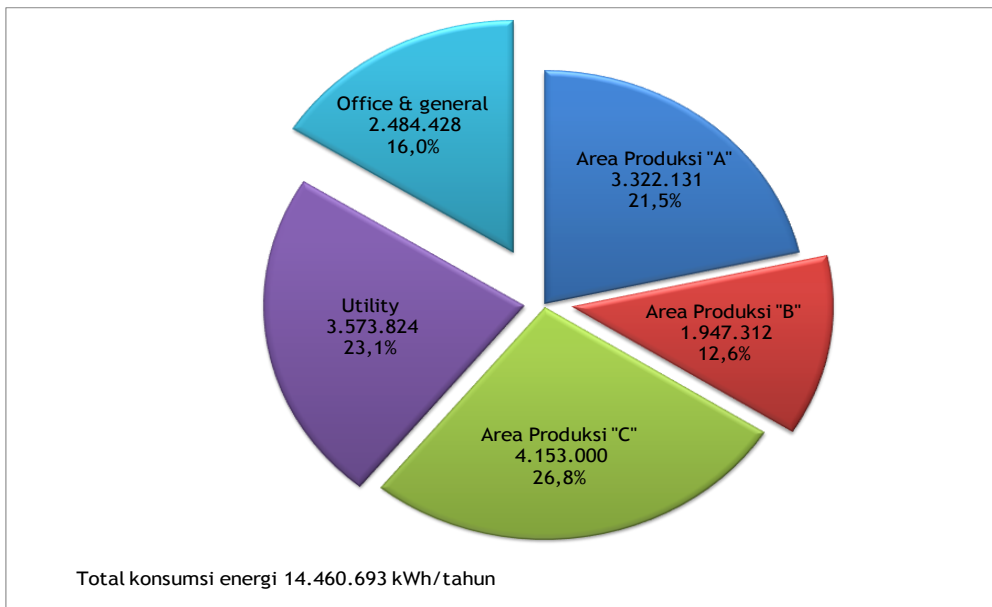
$$\text{kVARh kena denda} = \text{kVARh terpakai} - (0,62 \times \text{kWh total terpakai}) \quad (3.2)$$

#### 3.4.4. Neraca Energi Listrik

Distribusi penggunaan energi listrik secara umum terbagi ke dalam proses produksi (jenis produk A, B, dan C), utilitas, serta perkantoran. Distribusi secara jelas penggunaan energi selama 1 tahun dapat dilihat pada Tabel 3-4.

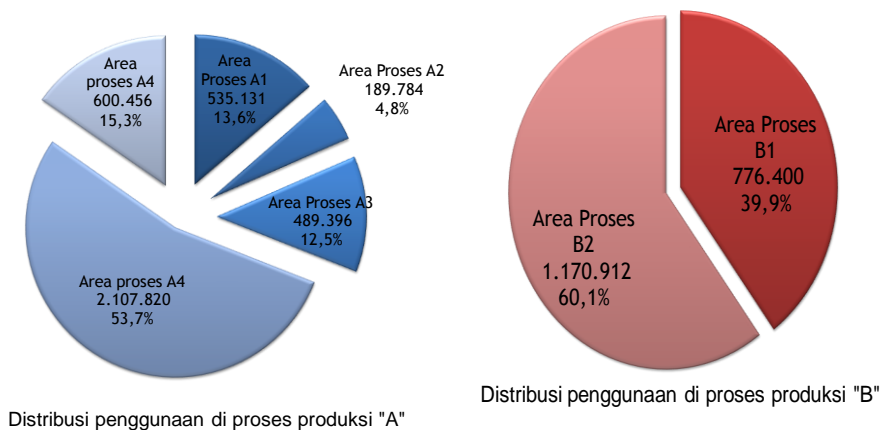
Tabel 3-4  
Distribusi penggunaan energi listrik setahun

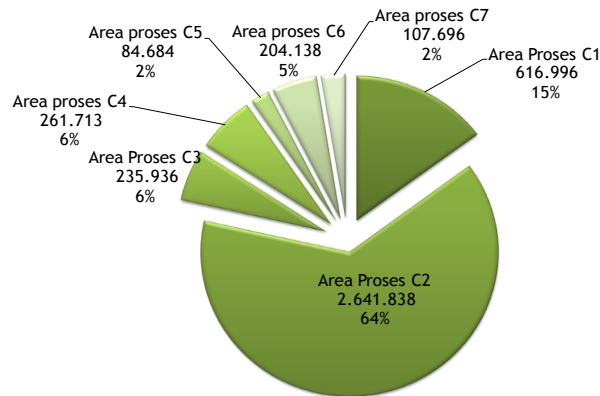
No.	Area		Konsumsi Energi, [kWh]	Biaya Energi, [Rp]
1	PLN		16.139.040	13.334.775.401
2	kVARh		7.154.940	
Tarif Listrik, [Rp/kWh]				
3	Produksi			
	a.	Area Produksi "A"		
		Area Proses A1	535.131	439.234.671
		Area Proses A2	189.784	155.031.498
		Area Proses A3	489.396	404.884.985
		Area proses A4	2.107.820	1.726.676.048
		Area proses A4	600.456	544.368.448
	Sub Total Produksi A		3.322.131	2.725.827.202
	b.	Area Produksi "B"		
		Area Proses B1	776.400	643.812.299
		Area Proses B2	1.170.912	963.112.819
	Sub Total Produksi Powder		1.947.312	1.606.925.118
	c.	Area Produksi "C"		
		Area Proses C1	616.996	506.592.125
		Area Proses C2	2.641.838	2.182.510.544
		Area Proses C3	235.936	192.817.404
		Area proses C4	261.713	215.087.334
		Area proses C4	84.684	69.602.328
		Area Proses C5	204.138	167.222.135
		Area Proses C6	107.696	88.621.339
	Sub Total Produksi "C"		4.153.000	3.422.453.209
	Total Produksi		9.422.443	7.755.205.529
4	Utilitas			
		D B A	195.300	162.874.102
		Boiler No. 1 & 2	1.273.274	1.045.949.387
		Kompresor Udara	1.,459.610	1.203.968.809
		W T P	116.920	96.176.004
		WWTP	528.720	436.761.095
	Total Utilitas		3.573.824	2.945.729.397
5	Kantor dan Umum			
		Kantor Pusat	8.160	6.675.369
		Kantor GA & Pemasaran	153.332	126.573.500
		Kantin	134.108	109.926.190
		Bengkel	21.276	17.589.326
		Laboratorium	345.056	279.562.565
		Lain-lain	1.822.496	1.448.588.061
	Total Kantor dan Umum		2.48.428	1.988.915.011
	TOTAL		15.480.695	12.689.849.936



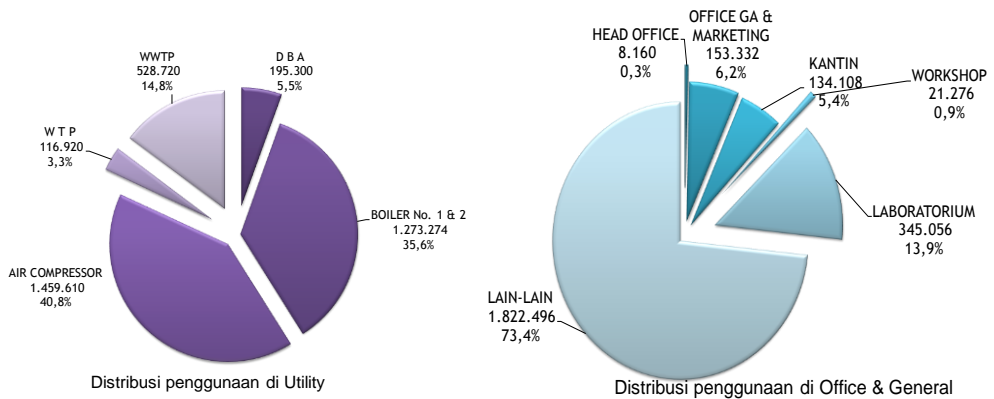
Gambar 3-10. Distribusi energi listrik berdasarkan jenis penggunaan.

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa penggunaan energi listrik untuk proses produksi A: 21,5%, produksi B: 12,6%, dan produksi C: 26,8%. Penggunaan untuk utilitas 23,1% dan kantor sebanyak 16,0%. Sedangkan distribusi penggunaan energi pada masing-masing proses produksi dan utilitas disajikan pada Gambar 3-11.





Distribusi penggunaan di proses produksi "C"



Distribusi penggunaan di Utility

Distribusi penggunaan di Office & General

Gambar 3-11. Distribusi energi listrik berdasarkan jenis produk dan beban.

Dari diagram *pie* di atas terlihat bahwa konsumsi energi terbesar pada masing-masing proses produksi, utilitas, umum, dan perkantoran. Fokus dan pengukuran lebih rinci dapat diarahkan pada penggunaan energi yang signifikan.

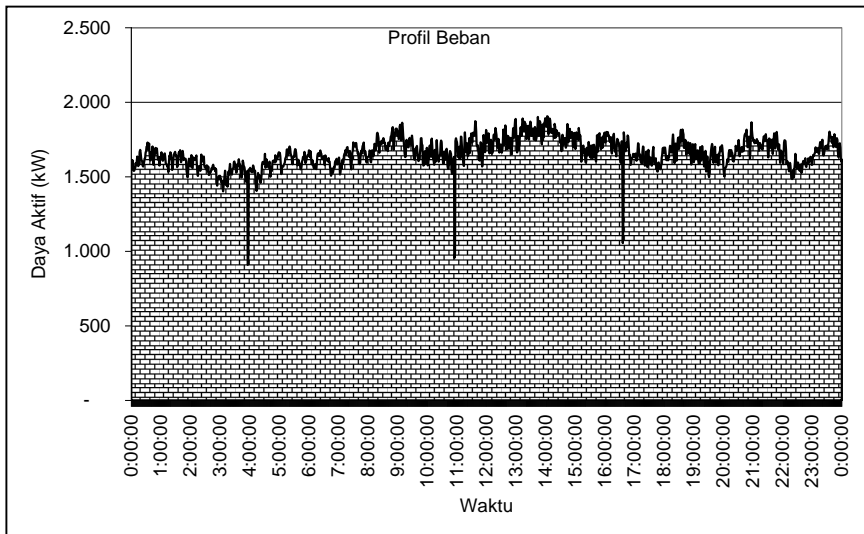
### 3.5. ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK HARIAN

#### 3.5.1. Profil Beban Harian

Profil beban harian dapat diketahui berdasarkan hasil pengukuran penggunaan energi listrik. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang penggunaan energi listrik di suatu industri, maka berikut ini diperlihatkan hasil pengukuran yang dilakukan pada *outgoing* masing-masing transformator. Pengukuran listrik menggunakan *power analyzer* dengan perekaman data setiap 1 menit selama 24 jam. Listrik yang berasal dari PLN dengan tegangan kerja 20 kV terdistribusi ke masing-masing transformator. Berikut ini diperlihatkan profil penggunaan energi listrik pada saat dilakukan pengukuran (Tabel 3-5).

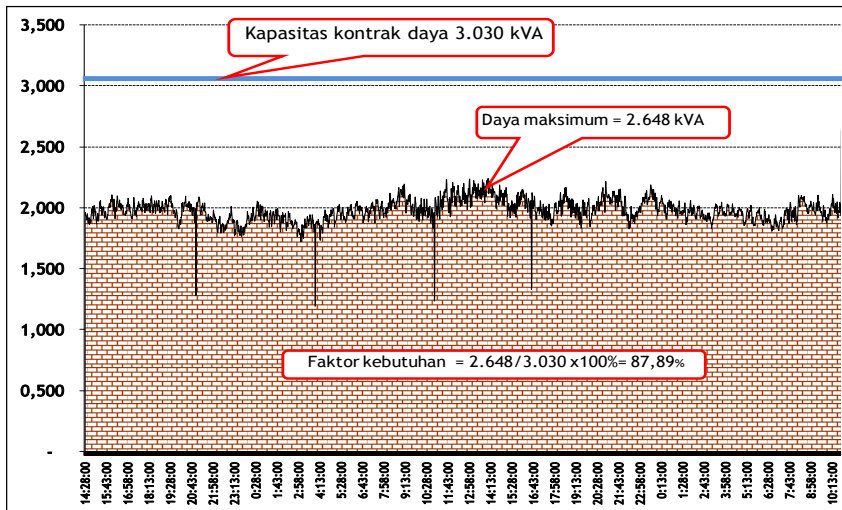
Tabel 3-5  
Hasil pengukuran listrik total harian

Hari	Total Daya Listrik				Energi, [kWh/hari]
	Daya	Minimum	Rata-rata	Maksimum	
SENIN	kW	1.096,00	1.715,81	1.855,50	41.179,5
	kVAr	675,50	957,51	1.042,00	
	kVA	1.287,45	1.965,01	2.114,49	
	Faktor Daya	0,77	0,82	0,83	
SELASA	kW	1.008,90	1.760,26	2.006,00	42.246,3
	kVAr	648,70	958,66	1.127,10	
	kVA	1.199,62	2.004,73	2.249,78	
	Faktor Daya	0,76	0,83	0,85	
RABU	kW	1.565,10	1.714,58	1.873,10	41.149,8
	kVAr	886,40	969,71	1.039,50	
	kVA	1.818,83	1.970,04	2.129,98	
	Faktor Daya	0,80	0,82	0,84	
Rata-rata	kW	1.223,3	1.730,2	1.911,5	41.525,2
	kVAr	736,9	962,0	1.069,5	
	kVA	1.435,3	1.979,9	2.164,7	
	Faktor Daya	0,78	0,82	0,84	



Gambar 3-12. Profil beban selama 1 hari.





Gambar 3-13. Profil total beban terhadap kapasitas kontrak daya.

Berdasarkan Gambar 3-13 terlihat bahwa faktor kebutuhan di pabrik ini sudah mencapai 87,89%. Dengan memperhitungkan rugi-rugi transformator sekitar 2,5%, maka faktor beban menjadi **89,89%**.

### 3.5.2. Potensi Penghematan Energi dengan Perbaikan Faktor Daya

Berdasarkan data rekening listrik, tampak bahwa ada denda kelebihan pemakaian kVARh sebesar Rp106 juta per bulan atau Rp1,27 miliar per tahun. Hasil perhitungan faktor daya berdasarkan rekening listrik rata-rata 0,83. Hasil pengukuran juga terlihat bahwa faktor daya rata-rata sekitar 0,83. Sehingga penghematan dapat dilakukan dengan perbaikan faktor daya. Besarnya kapasitor yang dibutuhkan adalah:

Sebelum pemasangan kapasitor:

$$\begin{aligned} S_1 &= 2.108 \text{ kVA} & Q_1 &= 1.175 \text{ kVAr} \\ P_1 &= 1.750 \text{ kW} & \text{Pf}_1 &= 0,83 \end{aligned}$$

Perlu perbaikan faktor daya menjadi 0,95. Besar daya reaktif setelah pemasangan kapasitor adalah:

$$\begin{aligned} P_1 = P_2 &= 1.750 \text{ kW} \\ \text{Pf}_2 &= 0,95 \\ S_2 &= \frac{P_2}{0,95} = \frac{1.750}{0,95} = 1.842 \text{ kVA} \\ Q_2 &= \sqrt{S_2^2 - P_2^2} \\ &= \sqrt{1842^2 - 1750^2} \\ &= 575 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Dengan demikian besar kapasitor yang dibutuhkan untuk menaikkan faktor daya dari 0,83 menjadi 0,95 adalah  $(1.175 \text{ kVAr} - 575 \text{ kVAr}) = 600 \text{ kVAr}$ .

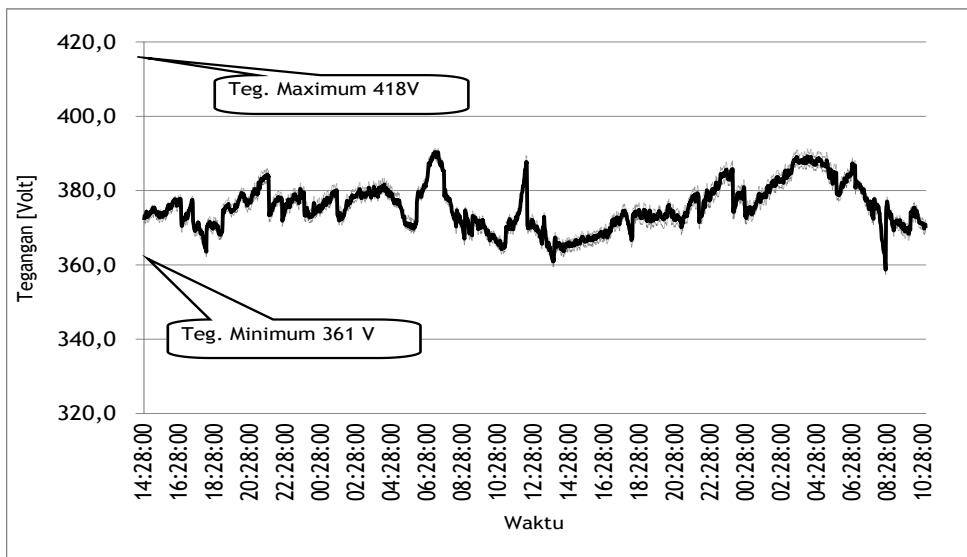
Kompensator daya reaktif yang dipilih adalah:

$$\begin{aligned} &= 12 \times 60 \text{ kVAr} \\ &= 720 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

Biaya investasi untuk perbaikan faktor daya dengan memasang *capacitor bank* variabel sekitar Rp450.000.000,- Dengan demikian biaya denda kelebihan pemakaian kVArh akibat faktor daya yang rendah dapat dihemat sekitar Rp1,27 milyar per tahun.

### 3.5.3. Analisis Hasil Pengukuran Tegangan

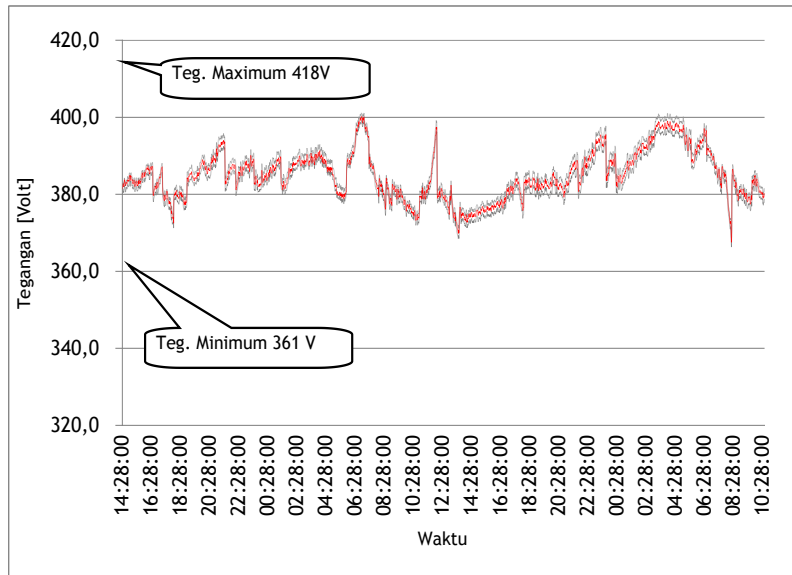
Pengukuran tegangan keluaran dari sekunder trafo pada *tapping* trafo adalah *Tap* 2. Tegangan yang diukur selama kurang lebih 24 jam perlu dianalisis. Analisis data dapat dibuatkan dalam bentuk grafik. Hal ini sangat penting untuk melihat besaran tegangan yang terjadi setiap waktu. Berdasarkan SNI 04-0227-2003 tentang tegangan standar, tertera bahwa tegangan standar di Indonesia adalah 220/380 V+10% -5% dan 230/400 V+5% -10%. Ini berarti bahwa tegangan yang diperbolehkan adalah 361 V - 418 V. Berikut ini ditampilkan contoh profil tegangan hasil pengukuran (Gambar 3-14).



Gambar 3-14. Profil tegangan hasil pengukuran.

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tampak bahwa tegangan yang terjadi sangat variatif dan cenderung rendah. Oleh karena itu perlu perubahan *tapping* transformator. Saat dilakukan pengukuran *tapping* trafo pada posisi #2. Agar tegangan kerja berada sekitar 382 - 384V maka *tapping* transformator perlu diubah ke posisi #3. Berikut ini disajikan perkiraan tegangan *output* dari transformator pada posisi Tap #3 (Gambar 3-15).

Keuntungan dari perubahan *tapping* transformator adalah agar tegangan keluaran sekunder transformator sesuai dengan tegangan kerja peralatan. Hal ini akan memperbaiki kinerja peralatan dan memperpanjang usia kerja peralatan.



Gambar 3-15. Profil tegangan setelah perubahan Tap #2 ke Tap #3.

### 3.5.4. Analisis Kualitas Daya Listrik

Harmonik adalah gangguan (distorsi) bentuk gelombang tegangan atau bentuk gelombang arus sehingga bentuk gelombangnya bukan sinusoidal murni lagi. Distorsi ini umumnya disebabkan oleh adanya beban non-linier. Pada dasarnya, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

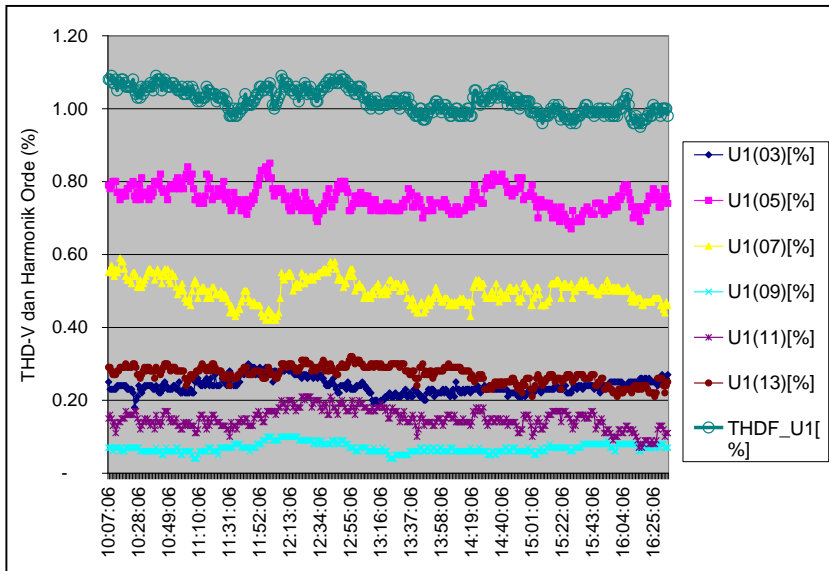
Harmonik tegangan atau arus diukur dari besarnya masing-masing komponen harmonik terhadap komponen dasarnya dinyatakan dalam besaran persen (%). Parameter yang dipakai untuk menilai cacat harmonik tersebut dipakai cacat harmonik total (*total harmonic distortion- THD*). Untuk sistem tegangan nominal 20 kV dan di bawahnya, termasuk tegangan rendah 220 Volt, THD maksimum 5 %. Untuk sistem 66 kV ke atas THD maksimum 3%. Tabel 3-6 memperlihatkan beberapa standar THD yang diperbolehkan.

Tabel 3-6  
Batasan harmonik tegangan berdasarkan standar Jepang, IEC dan IEEE.

	Jepang		IEC	USA
Nama	Guideline utk listrik rumah tangga	Guideline utk HV dan EHV	IEC 1000-3-2	IEEE std 519
Lembaga	Badan Energi MITI	MITI Badan Energi MITI	IEC/TC77	IEEE
Tanggal Pembuatan	30-9-1994	30-9-1994	Maret 1995	18-6-1992
Target Level Distorsi Teg.	Teg. distribusi THD* * 5% Teg.ekstra tinggi THD * 3%		THD = 3 % EMC level	THD * 5% - 1.5%

Pengukuran dan analisis THD tegangan juga perlu dilakukan, khususnya orde harmonik untuk orde 3,5,7,9,11, dan 13 selama lebih kurang 24 jam, dengan *scanning rate* 1 menit.

Gambar 3-16 menampilkan contoh grafik THD masing-masing fasa dan harmonik ordenya. Dari gambar tersebut terlihat bahwa THD-V rata-rata berada pada kisaran 1,16 %. Berdasarkan IEEE std 519-1992, besar THD maksimum untuk tegangan < 69 kV adalah sebesar 5%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa *Total Harmonic Distorsion* Tegangan (THD-V) sudah baik, yakni berada pada nilai < 5%.



Gambar 3-16. Profil THD-V dan Harmonik Orde.

Dari gambar di atas terlihat bahwa hamonik orde 5 yang tertinggi, disusul harmonik orde-7. Namun demikian masih rendah, sehingga tidak diperlukan adanya pemasangan filter.

### 3.5.5. Potensi Penghematan dengan Pemasangan VSD

Motor induksi merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan di Industri untuk keperluan penggerak berbagai proses yang ada di industri, di antaranya adalah: pompa, kompresor, *fan*, *blower*, konveyor, dan penggerak proses produksi lainnya. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan motor sinkron atau motor DC. Keunggulan tersebut adalah konstruksinya sederhana, tahan lama, perawatan mudah, dan efisiensinya tinggi. Di balik keunggulannya terdapat juga kelemahannya, yaitu dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi awal yang rendah.

Untuk mengatasi permasalahan ini dapat digunakan sistem kontrol dengan mengatur tegangan *input* dan frekuensinya untuk mendapatkan pengaturan kecepatan dan torsi sesuai dengan kebutuhan proses produksi di industri. Parameter yang dibutuhkan motor induksi adalah pengaturan kecepatan dan torsi motor. Untuk itu dibutuhkan pengaturan yang fleksibel dengan cara mengubah frekuensi *input*-nya dari 50 Hz (standar PLN) menjadi frekuensi yang diinginkan agar motor dapat berputar pada kecepatan yang diinginkan.

Sumber listrik dari PLN ataupun pembangkit sendiri mempunyai frekuensi yang konstan, dengan standar 50 Hz. Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (konverter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier* dioda), namun ada juga yang menggunakan penyearah terkendali (*thyristor rectifier*). Setelah tegangan diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*). Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil daripada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal. Sebagaimana kita ketahui kalau harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor, yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (*Inverter*).

Memang ada banyak cara untuk mengatur/mengurangi kecepatan motor seperti dengan *gear box/reducer*. Namun mengatur kecepatan motor dengan *inverter* akan memperoleh banyak keuntungan yang lebih bila dibandingkan dengan cara-cara yang lain. Keuntungan itu misalnya jangkauan yang luas untuk pengaturan kecepatan dan torsi motor, mempunyai akselerasi dan deselerasi yang dapat diatur, mempermudah proses *monitoring*/pengecekan, sistem proteksi motor yang baik, mengurangi arus *starting* motor dan menghemat pemakaian energi listrik, serta memperhalus *start* awal motor. Saat ini terdapat banyak produk *inverter* (*variable speed drive*) di pasaran dengan berbagai *vendor*, seperti: Mitsubishi, Altivar, Siemens, LG, Omron, Hitachi, Yaskawa, Fuji, dan beberapa lainnya.



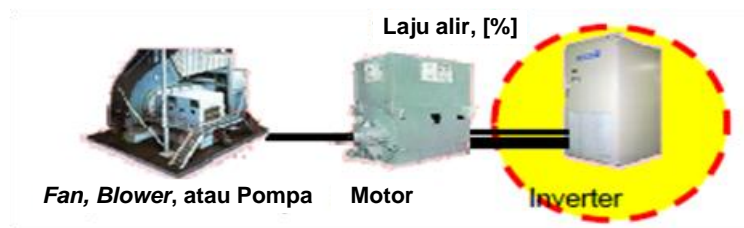
Gambar 3-17. Peralatan VSD yang ada di pasaran dari berbagai vendor.

Pemilihan inverter yang benar tentunya dengan memperhatikan spesifikasi motor serta keperluan dalam pemakaian *inverter* itu sendiri. Misalnya dengan memperhatikan daya motor, tegangan motor, frekuensi motor. Contohnya, Anda memiliki motor 3 *phase* 37 kW, maka Anda perlu menggunakan *inverter* dengan spesifikasi daya di atas 37 kW, misalnya 40 kW. Dan, tentunya tegangan keluaran inverter harus sama dengan tegangan motor. Jadi, penting untuk mengetahui arus pada motor saat dijalankan dengan beban, untuk *setting*-an ampere pada *inverter* sebagai proteksi motor, serta untuk menghitung daya beban yang berguna dalam pemilihan *inverter*. Pemilihan *inverter* dengan mendekati daya motor akan lebih efisien daripada memilih *inverter* jauh di atas daya motor.

Berikut ini diperlihatkan salah satu cara perhitungan penghematan energi dengan memanfaatkan *inverter* atau VSD. Pemasangan *inveter* pada motor *fan* dengan kapasitas 37 kW, 380V, pf 0,8 68A, efisiensi motor 90%. Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi variasi pembebanan *fan*. Berikut ini diperlihatkan hasil pengukuran arus listrik.



Gambar 3-18. Karakteristik arus motor.



Gambar 3-19. Metode pemasangan *inverter* (VSD) motor pompa.

### Analisis perhitungan konsumsi energi listrik:

Sebelum pemasangan inverter:

$$P_{in} = 23 \text{ kW (hasil pengukuran)}$$

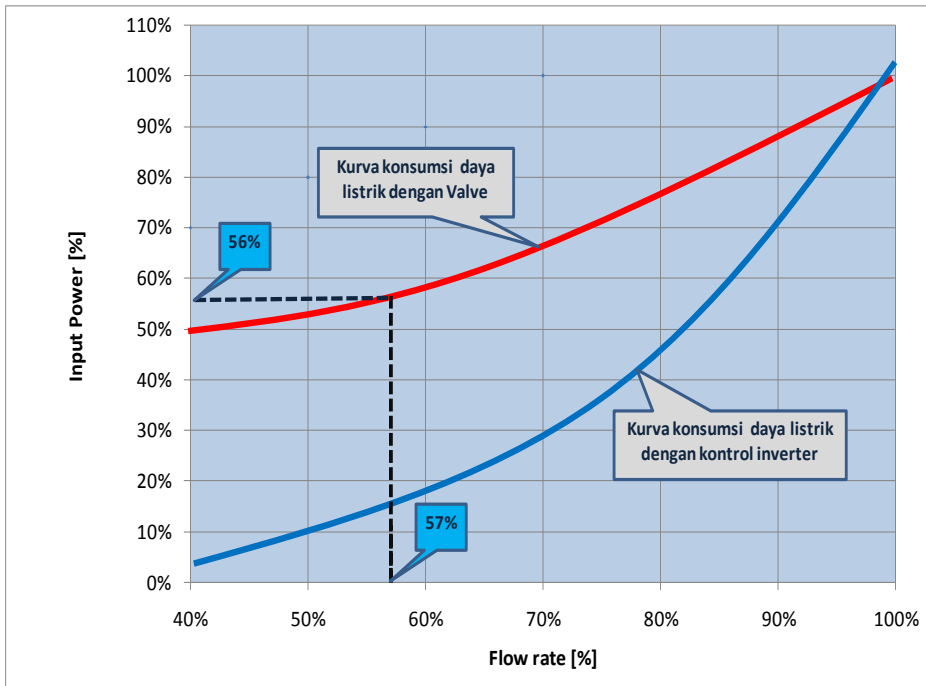
Pada beban penuh:

$$\begin{aligned} \text{Input daya} &= 50 \text{ hp} \times 0,746 \text{ kW / efisiensi} \\ &= 37,3 \text{ kW} / 90\% \\ &= 41 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian *input* daya (%):

$$\begin{aligned} &= 23 \text{ kW} / 41 \text{ kW} \\ &= 56 \% \end{aligned}$$

Dengan *input* daya 56%, maka *flow rate* adalah 57% (lihat Gambar 3-20).



Gambar 3-20. Karakteristik *input* daya pada motor.

Dengan Pemasangan inverter:

*Rate* kecepatan = 50%

*Shaft power* = *Rate shaft power* x [rata-rata kecepatan(%)]<sup>3</sup>  
 = 37,3 kW x (0,57)<sup>3</sup>  
 = 7 kW

*Input* daya = *shaft power* / efisiensi motor / efisiensi inverter  
 = 7 / 0,9 / 0,94  
 = 8,3 kW

Dengan demikian jumlah penghematan yang diperoleh adalah:

*Input power* = 23 - 8,3 kW  
 = 14,7 kW

Dengan asumsi motor tersebut beroperasi selama 8 jam/hari, maka:

Potensi penghematan = 14,7 x 8 jam x 30 hari x 12 bulan  
 = 42.336 kWh/tahun  
 = 42.336 kWh/tahun x Rp1.100/kWh  
 = Rp46.569.600,-



Bila investasi untuk instalasi *inverter* ini adalah US\$ 120/kW, maka total investasi adalah Rp53.712.000,-

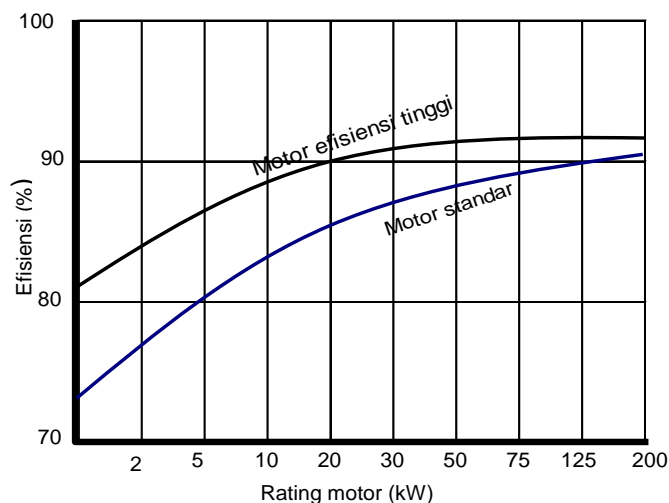
Dengan asumsi bahwa karakteristik motor distribusi 2 dan 3 sama, maka potensi penghematan yang dapat diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} &= 2 \times 42.336 \text{ kWh/tahun} \\ &= 84.672 \text{ kWh/tahun} \\ &= \text{Rp}84.672 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp}1.100/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}93.138.200/\text{tahun} \end{aligned}$$

### 3.5.6. Potensi Penghematan dengan Pemanfaatan Motor Efisiensi Tinggi

Motor berefisiensi tinggi dirancang khusus untuk meningkatkan efisiensi energi dibandingkan dengan motor standar. Perbaikan desain difokuskan pada penurunan kehilangan mendasar dari motor termasuk penggunaan baja silikon dengan tingkat kehilangan yang rendah, inti yang lebih panjang (untuk meningkatkan bahan aktif), kawat yang lebih tebal (untuk menurunkan tahanan), laminasi yang lebih tipis, celah udara antara stator dan rotor yang lebih tipis, batang baja pada rotor sebagai pengganti aluminium, *bearing* yang lebih bagus dan *fan* yang lebih kecil, dan lain-lainnya.

Motor dengan energi yang efisien mencakup kisaran kecepatan dan beban penuh yang luas. Efisiensinya 3% hingga 7% lebih tinggi dibandingkan dengan motor standar sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3-21. Tabel 3-7 dan Tabel 3-8 menggambarkan peluang perbaikan yang sering digunakan dalam menentukan penggunaan motor yang mempertimbangkan pemilihan efisiensinya.



Gambar 3-21. Perbandingan antara motor yang berefisiensi tinggi dengan motor standar. (BEE India).

Tabel 3-7  
Efisiensi rata-rata dan daftar harga motor standar dengan motor efisiensi tinggi.  
(Drip-Proof Motors)

HP	Efisiensi Rata-rata Motor Standar	Efisiensi Rata-rata Motor Efisiensi Tinggi	Peningkatan Efisiensi	Daftar Harga ODP Motor Standar, [USD]	Daftar Harga ODP Motor Efisiensi Tinggi, [USD]	Daftar Harga Premium, [USD]
5	83,80	87,90	4,1	329	370	41
7,5	85,30	89,60	4,3	408	538	130
10	87,20	91,10	3,9	516	650	134
15	87,60	91,50	3,9	677	864	187
20	88,40	92,00	3,6	843	1.055	212
25	89,20	92,80	3,6	993	1.226	233
30	89,20	92,80	3,6	1.160	1.425	265
40	90,20	93,60	3,4	1.446	1.722	326
50	90,10	93,60	3,5	1.688	2.066	378
60	91,00	94,10	3,1	2.125	2.532	407
75	91,90	94,50	2,6	2.703	3.094	381
100	91,70	94,50	2,8	3.483	3.933	460
125	92,70	94,40	1,7	4.006	4.709	703
150	92,90	95,00	2,1	5.760	6.801	1.041
200	93,10	95,20	2,1	7.022	8.592	1.570

Tabel 3-8  
Efisiensi rata-rata dan daftar harga motor standar dengan motor efisiensi tinggi  
(Enclosed Fan-Cooled Motors)

HP	Efisiensi Rata-rata Motor Standar	Efisiensi Rata-rata Motor Efisiensi Tinggi	Peningkatan Efisiensi	Daftar Harga TEFC Motor Standar, [USD]	Daftar Harga TEFC Motor Efisiensi Tinggi, [USD]	Daftar Harga Premium, [USD]
5	83,30	87,30	4,0	344	446	104
7,5	85,20	89,50	4,3	494	647	153
10	86,00	89,40	3,4	614	780	166
15	86,30	90,40	4,1	811	1.042	231
20	88,30	92,00	3,7	1.025	1.268	243
25	89,30	92,50	3,2	1.230	1.542	312
30	89,50	92,60	3,1	1.494	1.824	330
40	90,30	93,10	2,8	1.932	2.340	408
50	91,00	93,40	2,4	2.487	2.881	394
60	91,70	94,00	2,3	3.734	4.284	550
75	91,60	94,10	2,5	4.773	5.520	747
100	92,10	94,70	2,6	5.756	6.775	1.019
125	92,00	94,70	2,7	7.425	9.531	2.106
150	93,00	95,00	2,0	9.031	11.123	2.092
200	93,80	95,40	1,60	10.927	13.369	2.442

Sebagai hasil dari modifikasi untuk meningkatkan kinerja, biaya untuk motor yang energinya efisien lebih besar daripada biaya untuk motor standar. Biaya yang lebih tinggi seringkali akan terbayar kembali dengan cepat melalui penurunan biaya operasi, terutama pada penggunaan baru atau pada penggantian motor yang masa pakainya sudah habis. Akan tetapi untuk penggantian motor yang ada yang belum habis masa pakainya dengan motor yang efisien energinya, tidak selalu layak secara finansial, oleh karena itu direkomendasikan untuk mengganti dengan motor yang efisien energinya hanya jika motor-motor tersebut sudah rusak.

Menentukan penghematan energi tahunan:

$$\text{kWh penghematan} = \text{HP} \times \text{L} \times 0,746 \times \left( \frac{100}{\text{Estd}} - \frac{100}{\text{EHE}} \right)$$

Keterangan: HP = nilai spesifikasi pada motor

L = Faktor beban atau persentase beban penuh

Estd = Efisiensi motor standar kondisi beban aktual

EHE = Efisiensi motor efisiensi tinggi kondisi beban aktual

$$\begin{aligned} \text{kWh penghematan/tahun} &= \text{kW (penghematan)} \times \text{Jam operasi tahunan} \\ &= (\text{kW (penghematan)} \times 12 \\ &\quad \times \text{Biaya kebutuhan bulanan}) \\ &\quad + (\text{kWh (penghematan)} \times \text{Biaya energi}) \end{aligned}$$

Contoh perhitungan potensi penghematan dengan penggantian motor efisiensi tinggi. Semua motor standar dengan 50 HP, 380 V, efisiensi 90,1% dengan harga USD1688 ingin digantikan dengan motor yang berefisiensi tinggi 50 HP, 380V, efisiensi 93,6% dengan harga USD2060. Berapa penghematan yang dapat diperoleh dengan pemilihan motor efisiensi tinggi.

$$\begin{aligned} \text{kW penghematan} &= 50 \times 0,80 \times 0,746 \times \left( \frac{100}{90,1} - \frac{100}{93,6} \right) \\ &= 50 \times 0,80 \times 0,746 \times 0,04150 \\ &= 1,24 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kWh penghematan/tahun} &= \text{kW (penghematan)} \times \text{Jam operasi tahunan} \\ &= 1,24 \times 22 \times 340 \text{ jam} \\ &= 5.059 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Bila harga energi listrik adalah Rp1.100/kWh, maka:

$$\text{Penghematan biaya} = \text{Rp}5.564.900/\text{tahun}$$

Biaya investasi untuk motor induksi efisiensi tinggi 50 hp adalah USD2.881/unit atau Rp36.000.000,- Selisih antara harga motor efisiensi tinggi dengan efisiensi rendah adalah USD2060 - USD1688 = USD372 = Rp4.650.000,-

Dengan demikian bila penggantian dilakukan dengan motor efisiensi tinggi maka penghematan yang diperoleh selama 1 tahun melebihi daripada selisih antara harga motor efisiensi tinggi dengan motor standar. Sehingga penghematan energi listrik dapat diperoleh pada tahun berikutnya, bila dibandingkan dengan motor standar.

### 3.5.7. Menurunkan Pembebanan yang Kurang dan Menghindari Motor yang Ukurannya Terlalu Besar

Sebagaimana dijelaskan dalam subbab sebelumnya, beban yang rendah akan meningkatkan kehilangan/rugi-rugi pada motor dan menurunkan efisiensi motor serta faktor daya. Beban yang rendah mungkin merupakan penyebab yang paling umum dari ketidakefisienan dengan alasan-alasan sebagai berikut:

- Perancang peralatan cenderung menggunakan faktor keamanan yang besar bila memilih motor;
- Peralatan kadangkala digunakan di bawah kemampuan yang semestinya. Sebagai contoh perancang peralatan mesin memberikan nilai motor untuk kapasitas alat dengan beban penuh. Dalam prakteknya, pengguna sangat jarang membutuhkan kapasitas penuh ini, sehingga mengakibatkan hampir selamanya operasi dilakukan di bawah nilai beban;
- Dipilih motor yang besar agar mampu mencapai keluaran pada tingkat yang dikehendaki, bahkan jika tegangan masuk rendah dalam keadaan tidak normal;
- Dipilih motor yang besar untuk penggunaan yang memerlukan torsi/*torque* penyalan awal yang tinggi akan tetapi lebih baik bila digunakan motor yang lebih kecil yang dirancang dengan torsi/*torque* tinggi.

Ukuran motor dipilih berdasarkan evaluasi beban perlu dengan hati-hati. Namun bila mengganti motor yang ukurannya berlebih dengan motor yang lebih kecil, juga penting untuk mempertimbangkan potensi pencapaian efisiensi. Motor yang besar memiliki efisiensi lebih tinggi daripada motor yang lebih kecil. Oleh karena itu, penggantian motor yang beroperasi pada kapasitas 60 - 70% atau lebih tinggi biasanya tidak direkomendasikan. Dengan kata lain tidak ada aturan yang ketat yang memerintahkan pemilihan motor dan potensi penghematan perlu dievaluasi dengan dasar kasus per kasus. Untuk motor yang beroperasi konstan pada beban di bawah 40% dari kapasitasnya, pengukuran yang murah dan efektif dapat dioperasikan dalam mode bintang. Perubahan dari operasi standar delta ke operasi bintang meliputi penyusunan kembali pemasangan kawat masukan daya tiga fasa pada kotak terminal.

Mengoperasikan dalam mode bintang akan menurunkan tegangan dengan faktor  $\sqrt{3}$ . Motor diturunkan ukuran listriknya dengan operasi mode bintang, namun karakteristik kinerjanya sebagai fungsi beban tidak berubah. Jadi, motor dalam mode bintang memiliki efisiensi dan faktor daya yang lebih tinggi bila beroperasi pada beban penuh daripada beroperasi pada beban sebagian dalam mode delta.

Bagaimanapun, operasi motor pada mode bintang memungkinkan hanya untuk penggunaan dengan permintaan torsi/*torque* ke kecepatannya lebih rendah pada beban yang berkurang. Di samping itu, perubahan ke mode bintang harus dihindarkan jika motor disambungkan ke fasilitas produksi dengan keluaran yang berhubungan dengan kecepatan motor (karena kecepatan motor berkurang pada mode bintang). Untuk penggunaan dengan kebutuhan torsi/*torque* awal yang tinggi dan *torque* yang berjalan rendah, tersedia *starter* Delta-Bintang yang dapat membantu mengatasi torsi/*torque* awal yang besar.

### 3.5.8. Ukuran Motor untuk Beban Bervariasi

Motor industri sering kali beroperasi pada kondisi beban yang bervariasi karena permintaan proses. Praktek yang umum dilakukan dalam situasi seperti ini adalah memilih motor berdasarkan beban antisipasi tertinggi. Namun hal ini membuat motor lebih mahal padahal motor hanya akan beroperasi pada kapasitas penuh untuk jangka waktu yang pendek, dan berisiko motor bekerja pada beban rendah.

Alternatifnya adalah memilih motor berdasarkan kurva lama waktu pembebanan untuk penggunaan khusus. Hal ini berarti bahwa nilai motor yang dipilih sedikit lebih rendah daripada beban antisipasi tertinggi dan sekali-sekali terjadi beban berlebih untuk jangka waktu yang pendek. Hal ini memungkinkan, karena motor memang dirancang dengan faktor layanan (biasanya 15% di atas nilai beban) untuk menjamin bahwa motor yang bekerja di atas nilai beban sekali-sekali tidak akan menyebabkan kerusakan yang berarti. Risiko terbesar adalah pemanasan berlebih pada motor, yang berpengaruh merugikan pada umur motor dan efisiensi dan meningkatkan biaya operasi. Kriteria dalam memilih motor adalah bahwa kenaikan suhu rata-rata di atas siklus operasi aktual harus tidak lebih besar dari kenaikan suhu pada operasi beban penuh yang berkesinambungan (100%). Pemanasan berlebih dapat terjadi dengan:

- Perubahan beban yang ekstrem, seperti seringnya jalan/berhenti, atau tingginya beban awal;
- Beban berlebih yang sering dan/atau dalam jangka waktu yang lama;
- Terbatasnya kemampuan motor dalam mendinginkan, contoh pada lokasi yang tinggi, dalam lingkungan yang panas atau jika motor tertutupi atau kotor.

Jika beban bervariasi terhadap waktu, metode pengendalian kecepatan dapat diterapkan sebagai tambahan terhadap ukuran motor yang tepat.

### 3.5.9. Pengaruh Ketidakseimbangan Suplai Tegangan Terhadap Motor

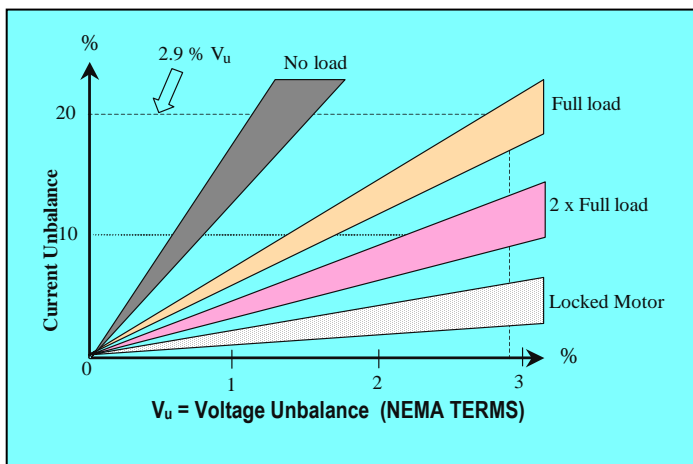
Ketidakseimbangan tegangan 3 fasa yang terjadi pada distribusi listrik, dapat diamati pada saluran fasa ke netral untuk setiap fasa R, S, dan T. Tegangan antar fasa tidak seimbang biasanya disebabkan oleh kesalahan distribusi '*tap connections*' transformator, dan tidak stabilnya tegangan suplai dari sumber. Penyebab lainnya adalah sistem '*open-delta transformator*', serta berasal dari motor itu sendiri.

Tegangan yang bervariasi dan tidak seimbang keduanya dapat mengganggu operasi motor dan menimbulkan pemborosan energi. Pada umumnya motor dirancang untuk beroperasi pada besar tegangan yang sama untuk setiap fasanya. Tegangan yang tidak seimbang, memiliki besaran dan sudut yang berbeda. Motor yang beroperasi pada tegangan yang tidak seimbang mengakibatkan penurunan torsi keluaran dan panas yang berlebihan. Akibat buruk tersebut, berhubungan langsung dengan sudut ketidakseimbangan tegangan. Pengaruh buruk dari tegangan tidak seimbang pada pengoperasian motor induksi 3 fasa berasal dari kenyataan bahwa '*unbalance voltage*' terdiri atas 2 komponen yang berlawanan, yaitu:

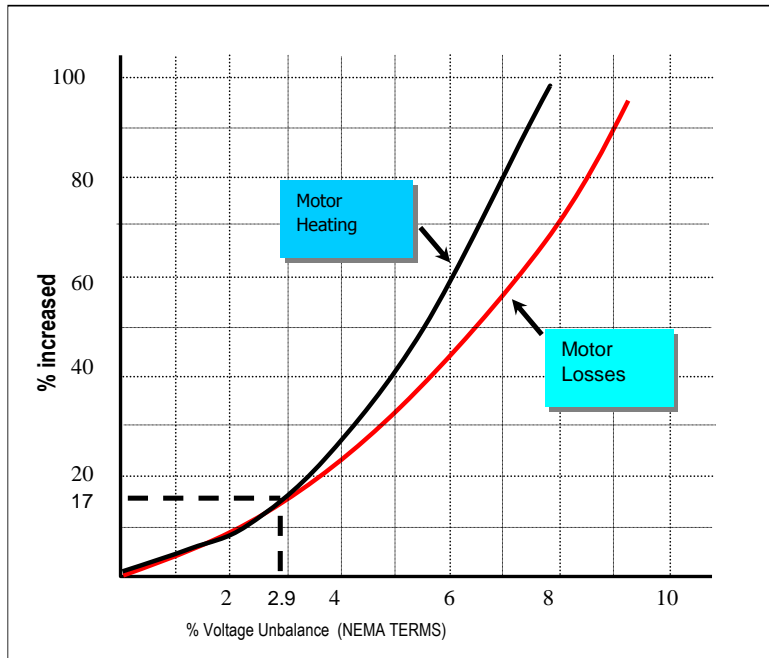
1. Komponen urutan positif, menghasilkan torsi positif yang diperlukan. Besar torsi ini lebih kecil daripada *output* torsi nomal dari suplai daya bila tegangan seimbang. Rugi-rugi yang timbul pada kondisi demikian lebih tinggi dibandingkan rugi-rugi normal motor, sebab tegangan urutan positif biasanya lebih rendah dari tegangan kerja;
2. Komponen urutan negatif, menghasilkan torsi negatif yang tidak diperlukan. Adanya torsi negatif semuanya diserap oleh motor sehingga memperbesar rugi-rugi. Bila tegangan urutan positif menaikkan ketidakseimbangan tegangan sedangkan tegangan urutan negatif menurunkan ketidakseimbangan tegangan. Namun demikian, kenaikan nilai kedua urutan tersebut akan mengganggu operasi motor. Tegangan urutan negatif dan positif dapat dihitung dengan mempergunakan metode komponen simetris.  
Adanya urutan negatif pada terminal motor 3 fasa menghasilkan fluks yang berputar berlawanan dengan fluks yang dihasilkan oleh tegangan urutan positif. Jadi putaran sinkron, tegangan, dan arus diinduksikan pada rotor dua kali frekuensi saluran. Timbulnya urutan negatif dapat mempengaruhi torsi, rugi tembaga stator dan rotor, rugi besi rotor, dan panas lebih pada motor.

### 3.5.10. Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Arus dan Rugi-rugi Pada Motor

Ketidakseimbangan tegangan dapat menyebabkan penambahan arus tak seimbang yang cukup tinggi. Besar arus tak seimbang bisa mencapai 6 sampai 10 kali dari ketidakseimbangan tegangan yang terjadi. Misalnya tegangan ketidakseimbangan 2,9% menyebabkan kenaikan arus hingga mencapai 20% (Gambar 3-22) . Di samping itu ketidakseimbangan tegangan menimbulkan kenaikan temperatur dan rugi-rugi pada motor (Gambar 3-23).



Gambar 3-22. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap kenaikan arus pada motor.



Gambar 3-23. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap kenaikan rugi-rugi dan panas pada motor.

### 3.5.11. Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Umur Isolasi Belitan Motor

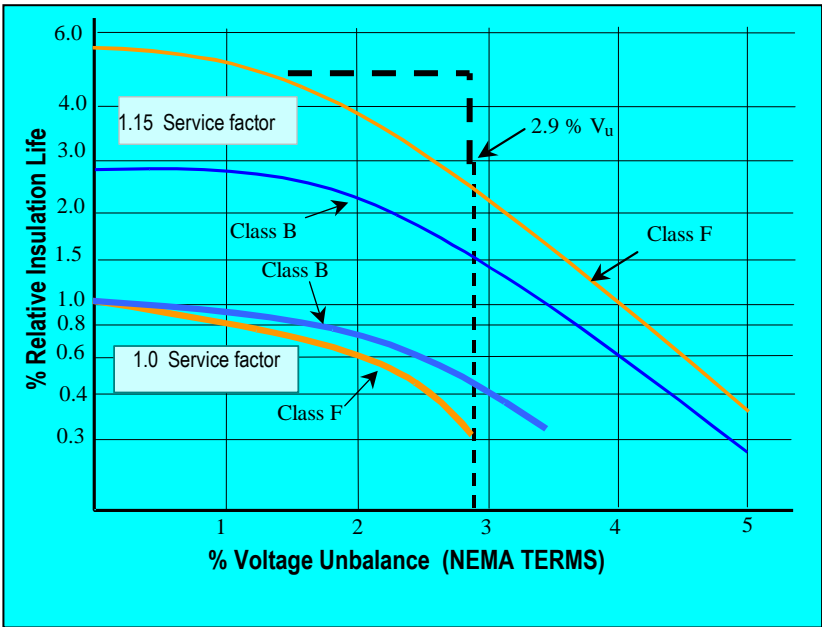
Arus yang besar pada motor akan menyebabkan kelebihan panas, sehingga memperpendek umur isolasi motor. Pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap umur isolasi relatif motor disajikan pada Gambar 3-24.

Kurva tersebut memperlihatkan pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap umur isolasi relatif motor pada beban penuh, dengan isolasi kelas B dan F untuk *Service Factor* (SF) masing-masing 1,0 dan 1,15.

Sebagai contoh pada ketidakseimbangan tegangan 2,9% akan menyebabkan kenaikan panas sebesar 17% (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3-22). Dengan memperbaiki SF menjadi 1,15, maka umur isolasi relatif motor untuk jenis isolasi kelas F dapat dinaikkan menjadi 2,5%, dan isolasi kelas B naik menjadi 1,5%.

Motor yang bekerja pada tegangan normal (0% *unbalance voltage*) dengan SF 1,0 akan memiliki umur isolasi relatif sama untuk SF 1,15 yang bekerja pada tegangan tidak seimbang sekitar 3,5% hingga 4%. Pada kurva untuk SF 1,0 motor, diperlihatkan bahwa terjadi penurunan drastis umur isolasi relatif motor bila terjadi tegangan tidak seimbang melebihi 2%. Untuk mempertahankan umur isolasi motor pada tegangan tidak seimbang dapat dilakukan dengan meningkatkan pemeliharaan yang baik. Efisiensi motor dapat menurun tajam dengan naiknya tegangan tak seimbang

pada sistem. Di samping itu dapat menimbulkan terjadinya vibrasi elektro-mekanik dan kerusakan pada bantalan motor. Vibrasi yang hebat terutama terjadi pada motor kecepatan tinggi misalnya 3.600 rpm.



Gambar 3-24. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap umur isolasi motor.

Dari penyajian di atas, terlihat bahwa ketidakseimbangan tegangan dapat menyebabkan kerusakan secara dini pada belitan motor, sehingga memperpendek umur motor. Di samping itu dapat menurunkan efisiensi motor karena panas yang berlebih. Dengan demikian terjadi pemborosan energi, sehingga pada akhirnya menyebabkan bertambah besar biaya secara keseluruhan. Pemeliharaan yang baik dan tepat dapat memperpanjang umur motor.

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Fluktuasi tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor. Tabel 3-9 menampilkan pengaruh adanya variasi tegangan, arus, dan kenaikan temperatur pada motor.

Tabel 3-9  
 Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan pada Motor Induksi.  
 (BEE India, 2004)

Keadaan	Contoh 1	Contoh 2	Contoh 3
Ketidakseimbangan tegangan, [%]	0,30	2,30	5,40
Ketidakseimbangan arus, [%]	0,4	17,7	40
Kenaikan temperatur, [°C]	0	30	40



Ketidakseimbangan tegangan dapat diminimalisasi dengan:

- Menyeimbangkan setiap beban fasa tunggal di antara seluruh tiga fasa;
- Memisahkan setiap beban fasa tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dengan jalur/trafo terpisah.

### 3.5.12. Penggulungan Ulang

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Penggulungan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dengan sebelumnya. Penggulungan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor: desain *slot* dan gulungan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi di antara laminasinya dapat rusak, sehingga meningkatkan kehilangan arus *eddy*. Perubahan dalam celah udara dapat mempengaruhi faktor daya dan keluaran torsi/*torque*.

Walau begitu, jika dilakukan dengan benar, efisiensi motor dapat terjaga setelah dilakukan penggulungan ulang. Dalam beberapa kasus, efisiensi bahkan dapat ditingkatkan dengan cara mengubah desain penggulungan. Dengan menggunakan kawat yang memiliki penampang lintang yang lebih besar, ukuran *slot* yang diperbolehkan, akan mengurangi kehilangan stator sehingga akan meningkatkan efisiensi. Walau demikian, direkomendasikan untuk menjaga desain motor orisinil selama penggulungan ulang, kecuali jika ada alasan yang berhubungan dengan beban spesifik untuk mendesain ulang.

Dampak dari penggulungan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika kehilangan motor tanpa beban diketahui pada sebelum dan sesudah penggulungan ulang. Informasi kehilangan tanpa beban dan kecepatan tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan penggulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fasa motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama.

Pada saat menggulung ulang motor perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:

- Gunakan perusahaan yang bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Asosiasi Layanan Peralatan Listrik;
- Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor yang sebelumnya sudah digulung ulang) sering memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada model yang tersedia saat ini yang efisien energinya. Biasanya yang terbaik adalah menggantinya. Hampir selalu terbaik mengganti motor biasa dengan beban di bawah 15 HP;
- Jika biaya penggulungan ulang melebihi 50% hingga 65% dari harga motor baru yang lebih efisien energinya, lebih baik membeli motor yang baru, karena

meningkatnya kehandalan dan efisiensi akan dengan cepat menutupi pembayaran harga motor.

### 3.5.13. Koreksi Faktor Daya dengan Pemasangan Kapasitor

Telah diketahui sebelumnya, karakteristik motor induksi adalah faktor dayanya yang kurang dari satu, menyebabkan efisiensi keseluruhan yang lebih rendah (dan biaya operasi keseluruhan yang lebih tinggi) untuk seluruh sistem listrik pabrik. Kapasitor yang disambung secara paralel (*shunt*) dengan motor kadangkala digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Kapasitor tidak akan memperbaiki faktor daya motor itu sendiri akan tetapi terminal *starter*-nya di mana tenaga dibangkitkan atau didistribusikan. Manfaat dari koreksi faktor daya meliputi penurunan kebutuhan kVA (jadi mengurangi biaya kebutuhan utilitas), penurunan kehilangan  $I^2R$  pada kabel di bagian hulu kapasitor (jadi mengurangi biaya energi), berkurangnya penurunan tegangan pada kabel (mengakibatkan pengaturan tegangan meningkat), dan kenaikan dalam efisiensi keseluruhan sistem listrik pabrik.

Ukuran kapasitor tergantung pada kVA reaktif tanpa beban (kVAr) yang ditarik oleh motor. Ukuran ini tidak boleh melebihi 90% dari kVAr motor tanpa beban, sebab kapasitor yang lebih tinggi dapat mengakibatkan terlalu tingginya tegangan dan motor akan terbakar. kVAr motor hanya dapat ditentukan oleh pengujian motor tanpa beban. Alternatifnya adalah menggunakan faktor daya motor standar untuk menentukan ukuran kapasitor.

### 3.5.14. Meningkatkan Perawatan

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silikon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal. Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu.

Kondisi udara sekitar dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor. Sebagai contoh, suhu ekstrem, kadar debu yang tinggi, atmosfer yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi; tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan.

Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktek perawatan yang baik akan meliputi:

- Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian *bearings* dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor);
- Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakkan, penyebabnya yang harus diketahui;

- Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya memberi rekomendasi untuk cara dan waktu pelumasan motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan di atas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau gemuk (*grease*) yang berlebihan dari *bearing* motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan risiko kebakaran;
- Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan *bearings* lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan;
- Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar. Sambungan-sambungan pada motor dan *starter* harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya;
- Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilangan panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama: untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10°C di atas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu penggulangan ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.

### 3.5.15. Potensi Penghematan dengan Pemanfaatan Lampu TL Tipe T-5

Berdasarkan hasil survei lapangan didapatkan bahwa kebanyakan lampu yang digunakan di kantor adalah menggunakan lampu T8. Oleh karena itu salah satu peluang penghematan dengan mengganti lampu T8 dengan T5. Dari hasil pengumpulan data didapatkan bahwa energi yang digunakan di pabrik ini adalah 16% atau 2.484.426 kWh/tahun untuk kantor. Hasil pengukuran penggunaan energi listrik khusus untuk penerangan adalah sekitar 18% dari total penggunaan energi di kantor. Dengan menggantikan lampu T8 : 36 W menjadi T5 : 28 W maka dapat dilakukan sekitar 22%. Dengan demikian estimasi potensi penghematan dengan penggantian lampu T8 menjadi T5 adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Penghematan energi} &= 22\% \times 18\% \times 2.484.426 \text{ kWh/tahun} \\
 &= 98.383 \text{ kWh/tahun} \\
 &= \text{Rp}108.221.000,-/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Biaya investasi untuk kegiatan ini adalah sekitar Rp250.000.000,-

## 3.6. ANALISIS TEKNO-EKONOMI

Investasi merupakan salah satu bentuk penanaman modal yang dilakukan dengan suatu harapan mendapatkan keuntungan di masa depan. Atas hal itulah maka dalam melakukan investasi dilakukan evaluasi perhitungan keekonomian dengan beberapa parameter yang dihasilkan, antara lain:

- a. *Pay-back period (PBP)*;
- b. *Return on Investment (ROI)*;
- c. *Net Present Value (NPV)*; dan
- d. *Internal Rate of Return (IRR)*.

Sebagai gambaran umum, sebelum menghasilkan parameter keekonomian tersebut di atas, ada 3 (tiga) faktor utama dalam penyusunan evaluasi perhitungan keekonomian, antara lain:

- Nilai Investasi

Nilai investasi adalah besarnya nilai penanaman modal yang dilakukan perusahaan ke dalam proyek tersebut.

- Revenue

*Revenue* adalah pendapatan yang dihasilkan dari terlaksananya investasi tersebut. *Revenue* yang dihasilkan bisa diperoleh dari adanya peningkatan hasil produksi atau dari penghematan biaya operasi. Sebagai contoh: apabila investasi dilakukan dengan mengganti pompa air dari kapasitas 500 gpm (*gallon per minute*) menjadi 750 gpm maka *revenue* di sini masuk dalam kelompok peningkatan hasil produksi dalam hal ini kenaikan 250 gpm.

- Cost

*Cost* adalah pengeluaran yang dihasilkan dari terlaksananya investasi tersebut. *Cost* di dalamnya juga termasuk pajak (*tax*), asuransi (*insurance*), dan beberapa lainnya.

Pada bagian ini akan dilakukan analisis kelayakan terhadap salah satu rekomendasi penghematan energi pada suatu perusahaan/industri yang telah diusulkan, yaitu optimasi pengoperasian transformator dan perbaikan faktor daya. Perhitungan analisis kelayakan dapat dilihat berikut ini.

### 3.6.1. *Pay-Back Period (PBP)*

Masa pengendalian investasi yang ditanamkan apabila *pay-back period* lebih rendah dari *lifetime period* proyek (N). Jadi  $Y < N$ , maka proyek sudah dapat dilaksanakan atau proyek jadi layak.

$$\text{Rumus simple pay back period adalah} = \frac{\text{Nilai Investasi}}{\text{Nilai Benefit}}$$

Dalam program konservasi energi, pada umumnya yang layak untuk dilaksanakan adalah yang memiliki PBP lebih kurang dari 3 tahun.

Tabel 3-10  
*Payback period*

No	Potensi Penghematan	Penghematan Energi, [kWh]	Investasi, [Juta Rp]	Peghematan Biaya, [Juta Rp]	<i>Payback Period</i>	Ket
1	Pemasangan kompensator daya reaktif secara terpusat untuk menghindari denda PLN	-	450	1.270	5 bln	Ok
2	Pemasangan <i>inverter</i> untuk mengatur putaran motor sesuai kebutuhan	84.672	150	93,138	19 bln	Ok
3	Penggantian motor efisiensi tinggi pada motor yang sudah beberapa kali digulung	5.095	36	5,565	11 bln	NOK
4	Penggantian lampu TL tipe T8 dengan lampu T5	98.000	257	107,8	28 bln	Ok
Total		187.767	893	1.476,503		
Total yang potensi			877	1.470,938	7,2 bln	OK

Berdasarkan hasil perhitungan PBP pada Tabel 3-10, terdapat beberapa potensi penghematan yang dilaksanakan karena pengembaliannya singkat kurang dari 2 tahun. Dari hasil tersebut di atas investasi dinilai layak untuk dilaksanakan.

### 3.6.2. *Return on Investment (ROI)*

*Return on Investment (ROI)* atau *Rate of return (ROR)* - dalam bahasa Indonesia disebut laba atas investasi - adalah rasio uang yang diperoleh atau hilang pada suatu investasi, relatif terhadap jumlah uang yang diinvestasikan.

Jumlah uang yang diperoleh atau hilang tersebut dapat disebut bunga atau laba/rugi. Investasi uang dapat dirujuk sebagai aset, modal, pokok, basis biaya investasi. ROI biasanya dinyatakan dalam satuan persen dan bukan dalam nilai desimal. ROI tidak memberikan indikasi berapa lamanya suatu investasi. Namun demikian, ROI sering dinyatakan dalam satuan tahunan atau disetahunkan dan sering juga dinyatakan untuk suatu tahun kalender atau fiskal. ROI juga dikenal sebagai tingkat laba (*rate of profit*) atau hasil suatu investasi pada saat ini, masa lampau, atau prediksi di masa mendatang. Atau bahasa sederhananya ROI merupakan pengembalian keuntungan atas investasi. ROI bisa juga diartikan sebagai rasio laba bersih terhadap biaya. Rumus menghitung ROI adalah sebagai berikut:

$$ROI = (\text{Total Penjualan} - \text{Investasi}) / \text{Investasi} \times 100\%$$

Tabel 3-11  
Return on Investment

1	Total nilai investasi	Rp	877.000.000
2	Suku bunga	%	12%
3	Cast flow period	Tahun	2
4	Benefit	Rp	1.470.938.000
5	Nilai ROI	%	235,4

Pada Tabel 3-11 ditunjukkan bahwa investasi layak dilaksanakan karena ROI di atas bunga yang ditetapkan.

### 3.6.3. Net Present Value (NPV)

NPV merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai faktor diskon, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini.

Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/*benefit* dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan NPV mengandalkan teknik arus kas yang didiskontokan. *Net Present Value* (NPV) atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara PV kas bersih dengan PV Investasi selama umur investasi. Dapat juga dikatakan bahwa *Net Present Value* (NPV) merupakan *net benefit* yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* (SOCC) sebagai diskon faktor.

Rumus yang digunakan untuk menghitung NPV adalah dengan mendiskonkan masing-masing periode arus masuk dan arus keluar dengan rumus:

$$NPV = \sum_{t=1}^n R_t / (1+r)^t - I$$

Bila  $R_t$  adalah uang yang dapat diperoleh setiap tahun sebagai pengembalian pelaksanaan konservasi energi, maka *total present value* selama tahun ke “n” untuk tahun berikutnya dapat dihitung dalam bentuk persamaan seperti berikut ini:

$$Total\ present\ value\ untuk\ tahun\ ke-n = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

Dengan demikian NVP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$NPV = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right) - I$$

Keterangan:

NPV = *Net Present Value*

$R_t$  = *Annual cash flow* pada tahun ke  $t$

$R$  = *Annual cash flow (constant)*

$r$  = *Interest rate (suku bunga)*

$I$  = *Investment amount* atau nilai investasi awal

$n$  = Waktu pakai proyek

$$\text{Annuity present value factor} : \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

Setelah dihitung NPV, maka keputusan dapat diambil dengan berpedoman seperti tabel berikut.

Tabel 3-12  
*Net present value*

Bila	Berarti	Maka
NPV > 0	investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan	proyek bisa dijalankan
NPV < 0	investasi yang dilakukan akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan	proyek ditolak
NPV = 0	investasi yang dilakukan tidak mengakibatkan perusahaan untung ataupun merugi	Kalau proyek dilaksanakan atau tidak dilaksanakan tidak berpengaruh pada keuangan perusahaan. Keputusan harus ditetapkan dengan menggunakan kriteria lain, misalnya dampak investasi terhadap <i>positioning</i> perusahaan.

1	Total nilai investasi	Rp	877.000.000
2	Suku bunga	%	12%
3	<i>Cast flow period</i>	Tahun	2
4	Faktor Diskon (tabel di bawah)		1,6900
5	Benefit	Rp	1.470.938.000
6	Nilai NPV		1.608.885.220

Berdasarkan Tabel 3-12 diketahui bahwa hasil NPV > 1, hal ini berarti investasi layak di laksanakan.

Tabel 3-13  
Present value factor of annuity

Number of Years	Interest Rate per Year														
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
1	.990	.980	.971	.962	.952	.943	.935	.926	.917	.909	.901	.893	.885	.877	.870
2	1.970	1.942	1.913	1.886	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736	1.713	1.690	1.668	1.647	1.626
3	2.941	2.884	2.829	2.775	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487	2.444	2.402	2.361	2.322	2.283
4	3.902	3.808	3.717	3.630	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170	3.102	3.037	2.974	2.914	2.855
5	4.853	4.713	4.580	4.452	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791	3.696	3.605	3.517	3.433	3.352
6	5.795	5.601	5.417	5.242	5.076	4.917	4.767	4.623	4.486	4.355	4.231	4.111	3.998	3.889	3.784
7	6.728	6.472	6.230	6.002	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868	4.712	4.564	4.423	4.288	4.160
8	7.652	7.325	7.020	6.733	6.463	6.210	5.971	5.747	5.535	5.335	5.146	4.968	4.799	4.639	4.487
9	8.566	8.162	7.786	7.435	7.108	6.802	6.515	6.247	5.995	5.759	5.537	5.328	5.132	4.946	4.772
10	9.471	8.983	8.530	8.111	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145	5.889	5.650	5.426	5.216	5.019
11	10.37	9.787	9.253	8.760	8.306	7.887	7.499	7.139	6.805	6.495	6.207	5.938	5.687	5.453	5.234
12	11.26	10.58	9.954	9.385	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814	6.492	6.194	5.918	5.660	5.421
13	12.13	11.35	10.63	9.986	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103	6.750	6.424	6.122	5.842	5.583
14	13.00	12.11	11.30	10.56	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367	6.982	6.628	6.302	6.002	5.724
15	13.87	12.85	11.94	11.12	10.38	9.712	9.108	8.559	8.061	7.606	7.191	6.811	6.462	6.142	5.847
16	14.72	13.58	12.56	11.65	10.84	10.11	9.447	8.851	8.313	7.824	7.379	6.974	6.604	6.265	5.954
17	15.56	14.29	13.17	12.17	11.27	10.48	9.763	9.122	8.544	8.022	7.549	7.120	6.729	6.373	6.047
18	16.40	14.99	13.75	12.66	11.69	10.83	10.06	9.372	8.756	8.201	7.702	7.250	6.840	6.467	6.128
19	17.23	15.68	14.32	13.13	12.09	11.16	10.34	9.604	8.950	8.365	7.839	7.366	6.938	6.550	6.198
20	18.05	16.35	14.88	13.59	12.46	11.47	10.59	9.818	9.129	8.514	7.963	7.469	7.025	6.623	6.259

Number of Years	Interest Rate per Year														
	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%
1	.862	.855	.847	.840	.833	.826	.820	.813	.806	.800	.794	.787	.781	.775	.769
2	1.605	1.585	1.566	1.547	1.528	1.509	1.492	1.474	1.457	1.440	1.424	1.407	1.392	1.376	1.361
3	2.246	2.210	2.174	2.140	2.106	2.074	2.042	2.011	1.981	1.952	1.923	1.896	1.868	1.842	1.816
4	2.798	2.743	2.690	2.639	2.589	2.540	2.494	2.448	2.404	2.362	2.320	2.280	2.241	2.203	2.166
5	3.274	3.199	3.127	3.058	2.991	2.926	2.864	2.803	2.745	2.689	2.635	2.583	2.532	2.483	2.436
6	3.685	3.589	3.498	3.410	3.326	3.245	3.167	3.092	3.020	2.951	2.885	2.821	2.759	2.700	2.643
7	4.039	3.922	3.812	3.706	3.605	3.508	3.416	3.327	3.242	3.161	3.083	3.009	2.937	2.868	2.802
8	4.344	4.207	4.078	3.954	3.837	3.726	3.619	3.518	3.421	3.329	3.241	3.156	3.076	2.999	2.925
9	4.607	4.451	4.303	4.163	4.031	3.905	3.786	3.673	3.566	3.463	3.366	3.273	3.184	3.100	3.019
10	4.833	4.659	4.494	4.339	4.192	4.054	3.923	3.799	3.682	3.571	3.465	3.364	3.269	3.178	3.092
11	5.029	4.836	4.656	4.486	4.327	4.177	4.035	3.902	3.776	3.656	3.543	3.437	3.335	3.239	3.147
12	5.197	4.988	4.793	4.611	4.439	4.278	4.127	3.985	3.851	3.725	3.606	3.493	3.387	3.286	3.190
13	5.342	5.118	4.910	4.715	4.533	4.362	4.203	4.053	3.912	3.780	3.656	3.538	3.427	3.322	3.223
14	5.468	5.229	5.008	4.802	4.611	4.432	4.265	4.108	3.962	3.824	3.695	3.573	3.459	3.351	3.249
15	5.575	5.324	5.092	4.876	4.675	4.489	4.315	4.153	4.001	3.859	3.726	3.601	3.483	3.373	3.268
16	5.668	5.405	5.162	4.938	4.730	4.536	4.357	4.189	4.033	3.887	3.751	3.623	3.503	3.390	3.283
17	5.749	5.475	5.222	4.990	4.775	4.576	4.391	4.219	4.059	3.910	3.771	3.640	3.518	3.403	3.295
18	5.818	5.534	5.273	5.033	4.812	4.608	4.419	4.243	4.080	3.928	3.786	3.654	3.529	3.413	3.304
19	5.877	5.584	5.316	5.070	4.843	4.635	4.442	4.263	4.097	3.942	3.799	3.664	3.539	3.421	3.311
20	5.929	5.628	5.353	5.101	4.870	4.657	4.460	4.279	4.110	3.954	3.808	3.673	3.546	3.427	3.316

### 3.6.4. Internal Rate of Return (IRR)

IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana, dan lain-lain).

Metode ini untuk membuat peringkat usulan investasi dengan menggunakan tingkat pengembalian atas investasi yang dihitung dengan mencari tingkat diskonto yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas masuk proyek yang diharapkan terhadap nilai sekarang biaya proyek atau sama dengan tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol.



IRR digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak, untuk itu biasanya digunakan acuan bahwa investasi yang dilakukan harus lebih tinggi dari *Minimum Acceptable Rate of Return* atau *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR). MARR adalah laju pengembalian minimum dari suatu investasi yang berani dilakukan oleh seorang investor.

Bila IRR sama dengan *capital cost*, maka jumlah investasi (*investment amount*):

$$I = \sum_{t=1}^n R_t / (1+r)^t$$

Apabila R rupiah dapat diperoleh setiap tahun sebagai *cash flow* (keuntungan), maka IRR tahun ke “n” berikutnya dapat diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$I = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

Keterangan:  $R_t$  = *Cash flow* pada tahun ke “t”  
 $R$  = *Annual cash flow* (konstan)  
 $r$  = *Interest rate* (suku bunga)  
 $I$  = *Investment amount* atau nilai investasi awal  
 $n$  = Waktu pakai proyek  
 $t$  = periode

Apabila  $r > \text{cost of capital (dividend)}$  atau *interest rate*, maka lakukan investasi.

Apabila  $r : < \text{cost of capital (dividend)}$  atau *interest rate*, maka Jangan lakukan investasi.

Tabel 3-14  
*Internal Rate of Return*

1	Total nilai investasi	Rp	877.000.000
2	Suku bunga (%)	%	12%
3	<i>Cast flow period</i>	Tahun	2
4	Benefit	Rp	1.470.938.000
5	IRR=877.000.000- 1.470.938.000*factor(2y,r) = 0		faktor(2y,r) = 0,5962
6	Dengan cara interpolasi menggunakan Tabel 3-13, untuk 2y, maka : r =		80%

Nilai r di atas diperoleh berdasarkan hasil perhitungan yaitu 80%. Ini berarti bahwa nilai r jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai suku bunga 12%. Ini menunjukkan bahwa kegiatan investasi konservasi energi ini layak dilaksanakan.

### 3.7. PENYUSUNAN LAPORAN

Penyusunan laporan audit energi pada sistem kelistrikan bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem kelistrikan merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem kelistrikan yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem boiler, diesel generator, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem kelistrikannya saja yang diaudit.

#### 3.7.1. Sebagai Bagian dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem kelistrikan merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 3-25. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 3-26.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 3-25) adalah urutan bab pada sistem kelistrikan. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem kelistrikan berada pada urutan ke-3, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 3 atau III. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 3 atau Bab III Sistem Kelistrikan.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan - sesuai dengan Gambar 3-25 - meliputi:

1. Deskripsi Sistem Kelistrikan

Di sini diuraikan hal-ikhwal mengenai sistem kelistrikan di pabrik tersebut, misalnya: sumber energi listrik (PLN dan/atau pembangkitan sendiri), besar kontrak daya dari PLN, peralatan sistem kelistrikan (jumlah dan kapasitas masing-masing transformator, panel-panel listrik, *capacitor bank*), status konsumsi energi listrik pada saat ini, dan beberapa lainnya.

2. Lingkup Audit Energi pada Sistem Kelistrikan

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

3. Peralatan Audit Energi

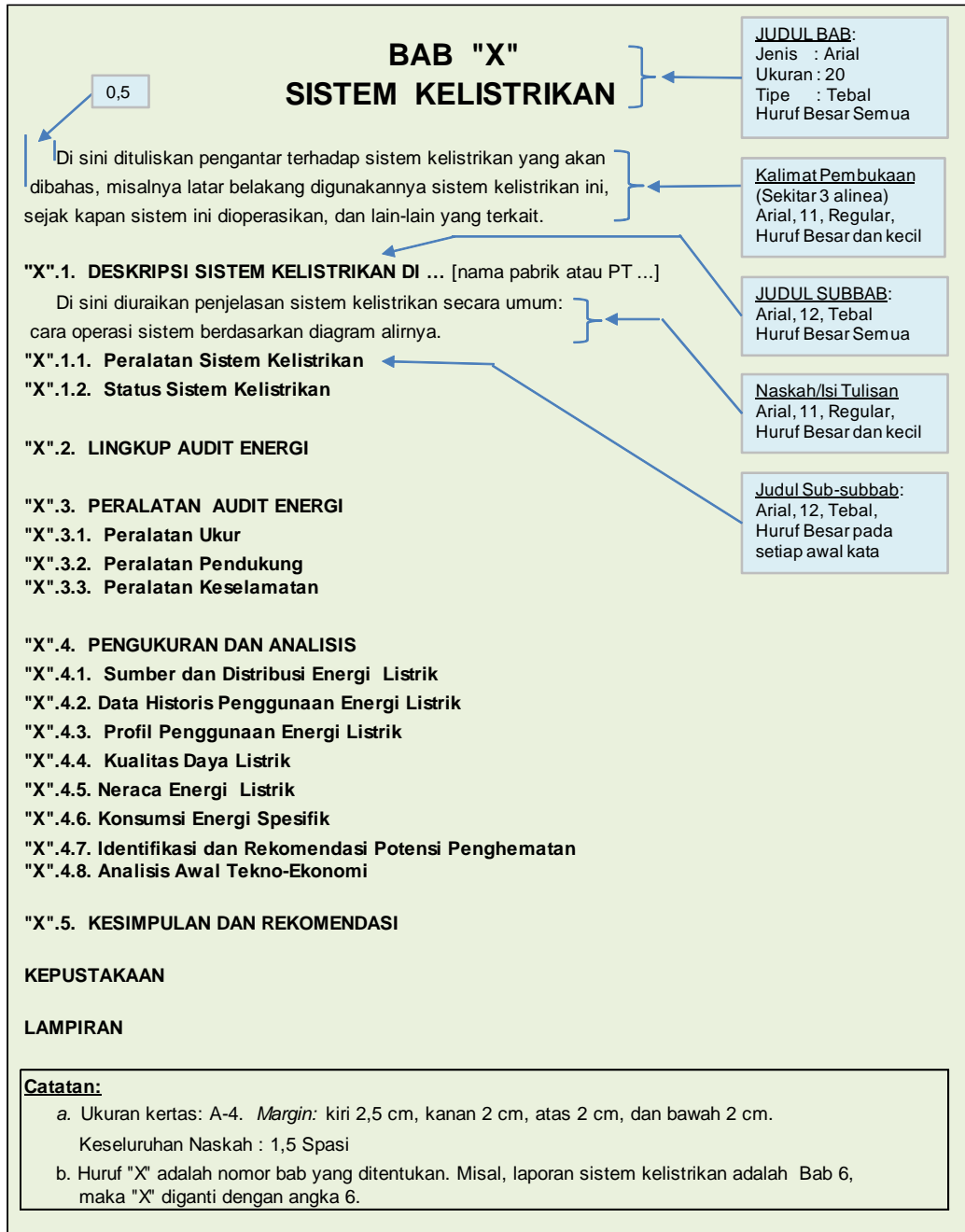
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.

4. Pengukuran dan Analisis

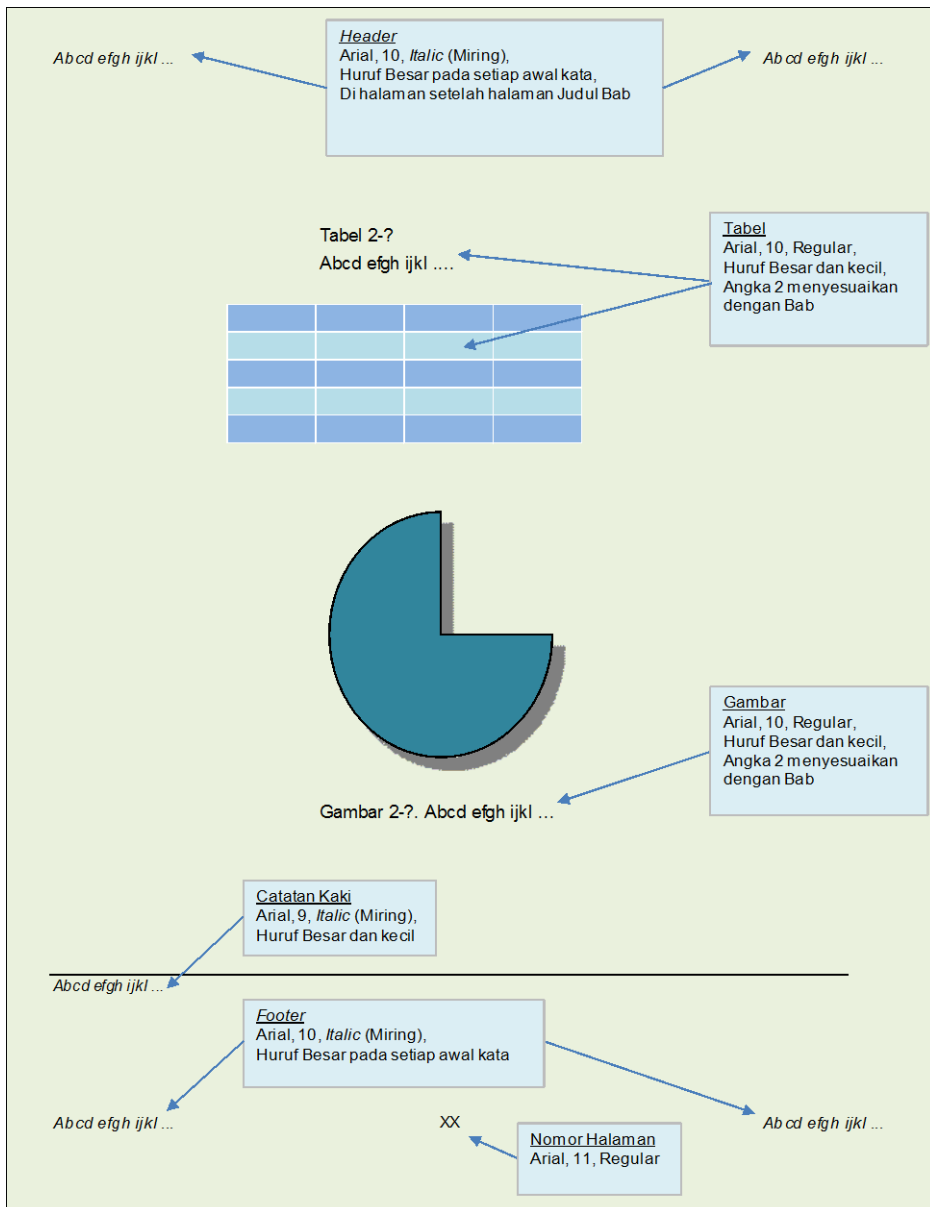
Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam analisis adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya. Bila dipandang perlu, dilengkapi pula dengan analisis awal tekno ekonomi.

## 5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 3-25. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem kelistrikan yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.



Gambar 3-26. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

### 3.7.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Kelistrikan

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem kelistrikannya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan tunggal, yang hanya mengulas ikhwal sistem kelistrikan, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, analisis, hingga

kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 3-27.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
KATA PENGANTAR	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
RINGKASAN EKSEKUTIF		
BAB 1 PENDAHULUAN		
1.1 Identitas Perusahaan	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
BAB 2 DESKRIPSI SISTEM KELISTRIKAN		
2.1 Peralatan Sistem Kelistrikan		
2.2 Status Sistem Kelistrikan		
BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI SISTEM KELISTRIKAN		
BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI		
4.1 Peralatan Ukur		
4.2 Peralatan Pendukung		
4.3 Peralatan K-3		
BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS		
5.1 Sumber dan Distribusi Energi Listrik		
5.2 Data Historis Penggunaan Energi Listrik		
5.3 Profil Penggunaan Energi Listrik		
5.4 Kualitas Daya Listrik		
5.5 Neraca Energi Listrik		
5.6 Konsumsi Energi Spesifik		
5.7 Identifikasi dan Rekomendasi Potensi Penghematan		
5.8 Analisis Awal Tekno-Ekonomi		
BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
KEPUSTAKAAN		
LAMPIRAN		
<b>Catatan:</b>		
a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin</i> : kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi		
b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.		
c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.		

Gambar 3-27. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem kelistrikan di industri.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

a. Kata Pengantar

Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.

b. Ringkasan Eksekutif

Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.

c. Pendahuluan

Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.

d. Deskripsi Sistem Kelistrikan

Uraianya dapat melihat butir 1 pada Subbab 3.7.1.

e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Kelistrikan

Uraianya dapat melihat butir 2 pada Subbab 3.7.1.

f. Peralatan Audit Energi

Uraianya dapat melihat butir 3 pada Subbab 3.7.1.

g. Pengukuran dan Analisis

Uraianya dapat melihat butir 4 pada Subbab 3.7.1.

h. Kesimpulan dan Rekomendasi

Uraianya dapat melihat butir 5 pada Subbab 3.7.1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Alat Kelistrikan (Electric tool set)*. <http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers>.
- [2] ANSI/EASA AR 100. 2010. *Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus*. [http://www.easa.com/sites/default/files/AR100-2010\\_1010-2.pdf](http://www.easa.com/sites/default/files/AR100-2010_1010-2.pdf).
- [3] Blooming, Thomas M. dan Daniel J. Carnovale. *Application of IEEE Std 519-1992 Harmonic Limits*. [https://www.google.com/search?q=IEEE+std+519-1992&oq=IEEE+std+519-1992&aqs=chrome..69i57.19974j0i8&sourceid=chrome&es\\_sm=93&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=IEEE+std+519-1992&oq=IEEE+std+519-1992&aqs=chrome..69i57.19974j0i8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8)
- [4] Bureau of Energy Efficiency. Chapter 3.1 Electric motor. Page 25-47. [http://202.164.52.148/pdf/rfp\\_04\\_dsm\\_2011\\_12\\_detailed.pdf](http://202.164.52.148/pdf/rfp_04_dsm_2011_12_detailed.pdf)
- [5] *Clamp-on Power Meter. (Hioki 33285 Digital Clamp Meter)*. <http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter>.
- [6] *Current Transformer. (METSECT5VF060)*. [http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current Transformer](http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/4100-power-energy-monitoring-system/4155-current-transformers/950-ct/Current%20Transformer).
- [7] *Determining Electric Motor Load and Efficiency*, Motor Challenge, a program of the US Department of Energy. <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf>

- [8] *Determining Electric Motor Load Factor*, Electric Ideas Clearinghouse, Bonneville Power Administration, 1991. <http://www.p2pays.org/ref/36/35469.pdf>
- [9] Digital Multimeter. Fluke 787/EUR TRMS. <http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke---787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V>.
- [10] *Energy Efficiency Reference Guide: Electric Motors*, Natural Resources Canada <http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/equipment/motors-ref/index.cfm?attr=24>
- [11] *Energy Efficient Motor Selection Handbook*, Bonneville Power Administration, United States Department of Energy, 1995. <http://www.wbdg.org/ccb/DOE/TECH/ce0384.pdf>
- [12] *Energy Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program, and Policy Opportunities*. Steve Nadel, et al., American Council for an Energy Efficient Economy, 2002
- [13] HIOKI 3169-20/3169-21 Clamp on Power HiTESTER. <http://pdf.directindustry.com/pdf/hioki-ee-corporation/hioki-3169-20-3169-21-clamp-power-hitester/16624-229279.html>
- [14] *Horsepower Bulletin: A guide for implementing a simple, cost-effective policy for industrial induction motor repair or replacement*, Advanced Energy. [www.advancedenergy.org/md/knowledge\\_library/resources/Horsepower%20Bulletin.pdf](http://www.advancedenergy.org/md/knowledge_library/resources/Horsepower%20Bulletin.pdf)
- [15] IEEE 100 *Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms*. <http://ieeexplore.ieee.org>
- [16] *IEEE 519, Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=22445](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=22445)
- [17] *Improving Fan System Performance: A Sourcebook for Industry*. US Department of Energy Industrial Technologies Program. [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/fan\\_sourcebook.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/fan_sourcebook.pdf)
- [18] *Improving Motor and Drive System Performance: A Sourcebook for Industry*. US Department of Energy Industrial Technologies Program. <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/motor.pdf>.
- [19] *Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry*. US Department of Energy Industrial Technologies Program. <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/pump.pdf>
- [20] Jones, Ted. *Motor Efficiency, Selection, and Management A Guidebook for Industrial Efficiency Programs*, September 2013, Consortium for Energy Efficiency, 98 North Washington Street, Suite 101, Boston, MA 02114
- [21] Kabel-Gulung Listrik (25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets). <http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/>
- [22] Kacamata keselamatan (Hornets safety glasses). <http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992>
- [23] Kamera Digital . <http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras>

- [24] Kamera infra-merah termografi. <https://www.instrumart.com/products/33003/fluke-tis-thermal-imaging-scanner>
- [25] Kueck, J. D; Gray, J. R.; Driver, R. C.; and Hsu, J. S. Assessment of Available Methods for Evaluating In-Service Motor Efficiency. Oak Ridge National Laboratory, ORNL-TM-13237. April 1996.
- [26] Laptop. <http://www.anandtech.com/show/6880/best-budget-laptops-april-2013>
- [27] Lux Meter. Lutron Digital Lux Meter. (<http://sukm.indonetwork.co.id/2743076/lutron-lux-meter-lx-101a.htm>)
- [28] McCoy, Gilbert A., Todd Litman, dan John G. Douglass. Energy-Efficient Electric Motor Selection Handbook Washington State Energy Office Olympia, Washington. 1993.
- [29] *Model Repair Specifications for Low Voltage Induction Motors*, Bonneville Power Administration, Electric Power Research Institute, and United States Department of Energy, 1994. [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/repair\\_specs\\_motors.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/repair_specs_motors.pdf)
- [30] *Motor Right-Sizing for Platinum Mine Concentrator Pump Applications*, D. Janicijevic and L. Hauptfleisch. <http://active.cput.ac.za/energy/public/index.asp?pageid=535>, 2005
- [31] Pakaian keselamatan. <http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL>
- [32] Pelindung kepala (Helm). (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) [http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA\\_VGARD500rs](http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs)
- [33] Pelindung mulut dan hidung. <http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547>
- [34] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 09 tahun 2014 Tentang tarif tenaga Listrik yang disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) Perusahaan Listrik Negara. [http://www.pln.co.id/dataweb/TTL2014/Permen\\_ESDM\\_TTL\\_2014.pdf](http://www.pln.co.id/dataweb/TTL2014/Permen_ESDM_TTL_2014.pdf)
- [35] PT PLN. Statistika PLN, 2013. <http://www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2013IND.pdf>
- [36] Sarung tangan listrik. (<http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4>)
- [37] Sepatu keselamatan. ([http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland\\_pro\\_men-s\\_8\\_titan\\_safety\\_toe\\_boots\\_cappucino.html](http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html))
- [38] Thumann, Albert dan William J. Y. *Handbook of Energy Audit*. 7th Edition, Published by The Fairmont Press, Inc. 700 Indian Trail, Lilburn, GA 30047, tel: 770-925-9388; fax: 770-381-9865. <http://www.fairmontpress.com>.





## BAB 4

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM BOILER/KETEL

Pudjo Wahono Hadi  
Muhammad Akbar Hipi

**R**uang untuk melakukan efisiensi energi pada pengoperasian sistem boiler di industri selalu terbuka. Terlebih bila sistem boiler tersebut telah dioperasikan dalam jangka waktu yang relatif lama. Hal ini tetap terbuka kemungkinannya bahkan untuk sistem boiler dengan metode perawatan yang sudah terencana.

Pengertian efisiensi energi di sini adalah peningkatan efisiensi sistem boiler. Dengan demikian sistem boiler dioperasikan untuk memproduksi uap (*steam*) dengan jumlah dan mutu yang tetap namun penggunaan bahan bakar atau sumber energinya menurun.

Kegiatannya dimulai dengan “memotret” pola operasi sistem boiler tersebut, yakni dengan pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder. Data primer umumnya diperoleh melalui pengamatan atau observasi visual, wawancara dengan operator atau pihak manajemen, dan pengukuran. Parameter operasi sistem boiler diukur dengan menggunakan peralatan ukur, misalnya *flowmeter*, termometer, anemometer, higrometer, barometer, kamera termografi, dan beberapa lainnya. Sedangkan data sekunder dikumpulkan melalui salinan atau fotokopi dokumen terkait yang selama ini dimiliki oleh pihak industri atau pabrik.

Terhadap data primer dan sekunder ini selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja atau efisiensi sistem boiler. Dari hasil analisis ini selanjutnya disimpulkan kondisi sistem boiler pada saat itu. Seandainya efisiensinya berada pada tingkat di bawah yang seharusnya dicapai maka dapat direkomendasikan langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensinya.

Rangkaian kegiatan sebagaimana digambarkan di atas lazim disebut dengan audit energi. Mengacu kepada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi dan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, audit energi didefinisikan sebagai *proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi*.

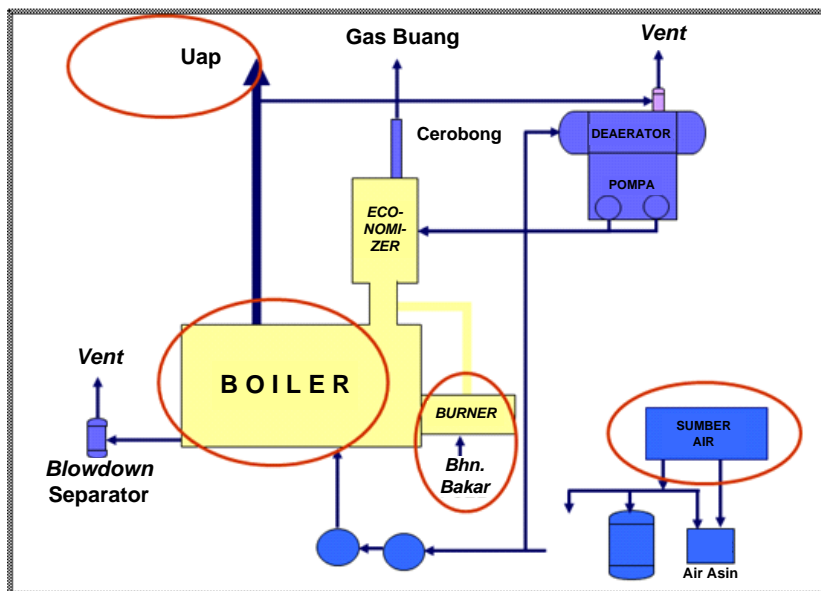
Sebagaimana dijelaskan pada rangkaian kegiatan di atas serta tercermin pada definisi audit energi maka tujuan pelaksanaan audit energi pada sistem boiler adalah: a) mengevaluasi kinerja (*performance*) boiler, termasuk mencari/menghitung rugi-rugi panasnya, b) menghitung potensi penghematan energinya, dan c) memberikan rekomendasi peningkatan efisiensinya.

## 4.1. DESKRIPSI BOILER

### 4.1.1. Gambaran Umum

Boiler atau ketel adalah salah satu mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi uap atau energi panas. Energi uap ini sangat diperlukan di industri-industri tekstil, kertas, dan makanan, untuk berbagai keperluan, misalnya pemanas dan pembangkit listrik.

Komponen utama boiler biasanya terdiri atas pipa evaporator/*boiling*, alat pembakar, pompa, *blower*, air umpan, dan beberapa lainnya. Gambar 4-1 menyajikan skematis instalasi kelengkapan boiler sederhana.



Gambar 4-1. Skematis instalasi kelengkapan boiler sederhana.

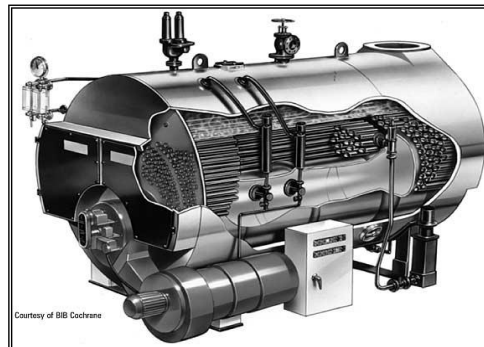
Umumnya boiler mempunyai dua proses utama, yaitu: a) proses pembakaran dan pelepasan panas, serta b) proses perpindahan panas dan pembangkitan uap dari air umpan. Sedangkan bahan bakar atau sumber energi boiler dapat bermacam-macam, yaitu batubara, minyak, gas, biomassa, atau panas limbah/buangan (*waste heat*).

Ukuran boiler pada industri sangat bervariasi, dari ukuran seruanan kecil (tinggi sekitar 1 m) hingga ukuran besar yang tingginya lebih dari 100 meter dan menempati area lebih dari 1.000 m<sup>2</sup>.

Sistem boiler terdiri atas: sistem pengumpan air, sistem uap air, dan sistem bahan bakar. Sistem pengumpan air menyediakan air kepada boiler dan mengaturnya secara otomatis untuk memenuhi kebutuhan uap air. Berbagai katup disediakan untuk akses pemeliharaan dan perbaikan.

Sistem uap air mengumpulkan dan mengendalikan produksi uap air di dalam boiler. Uap air dialirkan melalui suatu sistem pemipaan ke tempat penggunaan. Pada seluruh sistem, tekanan uap air diatur menggunakan katup dan diukur dengan alat pengukur tekanan uap air.

Sistem bahan bakar meliputi semua peralatan yang digunakan untuk menyuplai bahan bakar guna menghasilkan panas yang diperlukan. Peralatan yang diperlukan dalam sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan.



Gambar 4-2. Boiler Cochran. (Sumber: Cochran. CO).

Air yang dialirkan ke dalam boiler yang akan diubah menjadi uap air disebut air umpan (*feed water*). Dua sumber air umpan adalah: (1) kondensat atau uap air yang dikondensasikan kembali dari proses dan (2) *makeup water* (air baku yang diolah) yang harus didatangkan dari luar ruang boiler dan bagian proses. Untuk menaikkan efisiensi boiler, digunakan *economizer* untuk pemanasan awal air menggunakan panas dari gas buang.

#### 4.1.2. Klasifikasi Boiler

Berbagai bentuk boiler telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk boiler sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk *steam* seperti apa yang akan dihasilkan. Klasifikasi boiler dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1  
Klasifikasi boiler

Macam/Jenis	Pipa Air	Pipa Api atau Pipa Asap	Boiler Kecil (Satu Laluan)
Kapasitas, [ton/jam]	3 - 300 (Boiler besar untuk pembangkit listrik)	1 - 30	0,1 - 3
Tekanan Uap, [kg/cm <sup>2</sup> ]	1 - 200	1 - 20	1 - 10
Metode Sirkulasi Air Umpan	Alamiah dan paksa	Alamiah	<i>Once through</i>
Jumlah Air yang Tersedia	30 - 40%	100 - 200%	10 - 20%
Waktu Menghasilkan Uap, [menit]	10 - 20	20 - 30	5
Pengendalian Kualitas Air	Sukar (lebih sukar pada tekanan tinggi)	Relatif mudah	Sukar
Penyesuaian pada Macam-macam Beban	Relatif baik	Baik	Tidak Baik
Umur Badan Utama, [tahun]	10 - 30	10 - 20	10 - 15
Efisiensi Boiler, [%]	85 - 90	85 - 90	80 - 90

#### 4.1.2.1. Berdasarkan Fluida yang Mengalir di Dalam Pipa

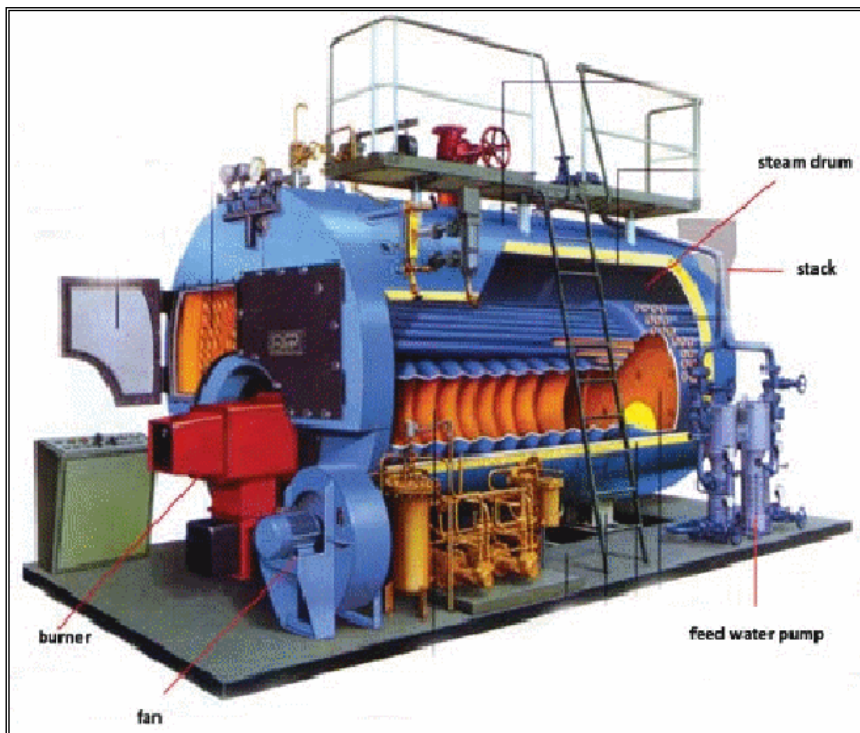
##### A. Boiler/Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Pada ketel pipa api seperti tampak pada Gambar 4-3 dan 4-4, gas panas melewati bagian dalam pipa-pipa sedangkan air umpan ketel berada di dalam *shell* (di luar pipa-pipa) untuk diubah menjadi uap (*steam*).

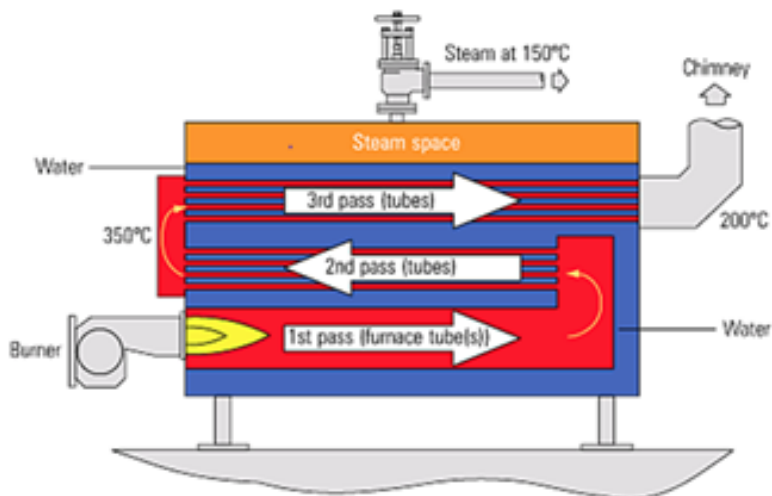
Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas uap yang relatif kecil dengan tekanan-uap rendah dan sedang. Sebagai pedoman, ketel pipa api kompetitif untuk laju alir uap sampai dengan 14.000 kg/jam dengan tekanan hingga 18 kg/cm<sup>2</sup>. Dalam operasinya, ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas, atau padat. Untuk alasan ekonomi, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai boiler “paket” (*package boiler*) (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.

Ciri khas boiler pipa api adalah:

- Gas panas mengalir melalui pipa dan air boiler di dalam *shell* untuk dikonversi menjadi uap
- Digunakan pada kapasitas uap kecil: 12.000 kg/jam dan 18 kg/cm<sup>2</sup>.



Gambar 4-3. Ketel Pipa Api (*Omnical*).  
(Sumber: Murni, Buku Ajar Ketel Uap, 2012)

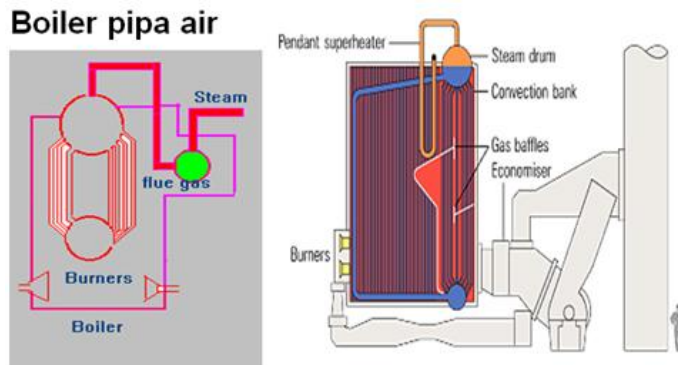


Penampang dari boiler tabung api (Sumber: Spiraxarco)

Gambar 4-4. Aliran gas panas pada ketel pipa api.

## B. Boiler/Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

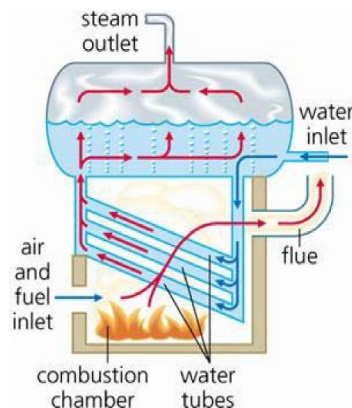
Pada boiler/ketel pipa air, seperti tampak pada Gambar 4-5 dan 4-6, air umpan boiler mengalir melalui bagian dalam pipa-pipa selanjutnya masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanannya sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut: *force*, *induce*, dan *balance draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi.



Gambar 4-5. Penampang boiler pipa air.  
(Sumber Murni, Buku Ajar Ketel Uap, 2012)

Ciri khas boiler pipa air adalah:

1. Air pengisi boiler melalui pipa, gas panas (*flue gas*) berada di luar pipa;
2. Kapasitas uap berkisar antara 4.500- 120.000 ton/jam;
3. Memerlukan kualitas air yang sangat ketat;
4. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari pengolahan air;
5. Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



Gambar 4-6. Ketel Pipa Air. (Sumber: YourDitionary.com).

#### 4.1.2.2. Berdasarkan Pemakaian

##### A. Ketel Stasioner (*Stationary Boiler*) atau Ketel Tetap

Merupakan ketel-ketel yang didudukkan di atas fondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkit tenaga, industri, dan lain sebagainya.

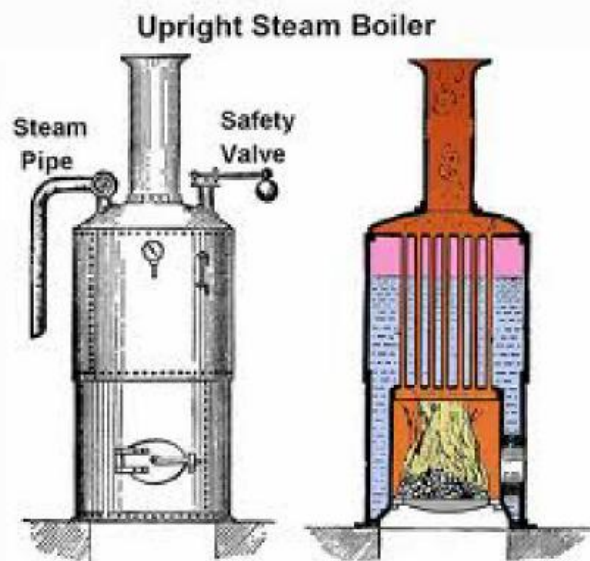
##### B. Ketel Mobil (*Mobile Boiler*), Ketel Pindah, atau *Portable Boiler*

Merupakan ketel yang dipasang fondasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti boiler lokomotif, lokomobil, dan ketel panjang, termasuk ketel kapal (*marine boiler*).

#### 4.1.2.3. Berdasarkan Poros Tutup Drum (*Shell*)

##### A. Ketel Tegak

Ketel tegak seperti tampak pada Gambar 4-7 (*vertical steam boiler*) adapun contoh ketel tegak adalah Ketel Cocharn, Ketel Clarkson, dan lain-lainnya.

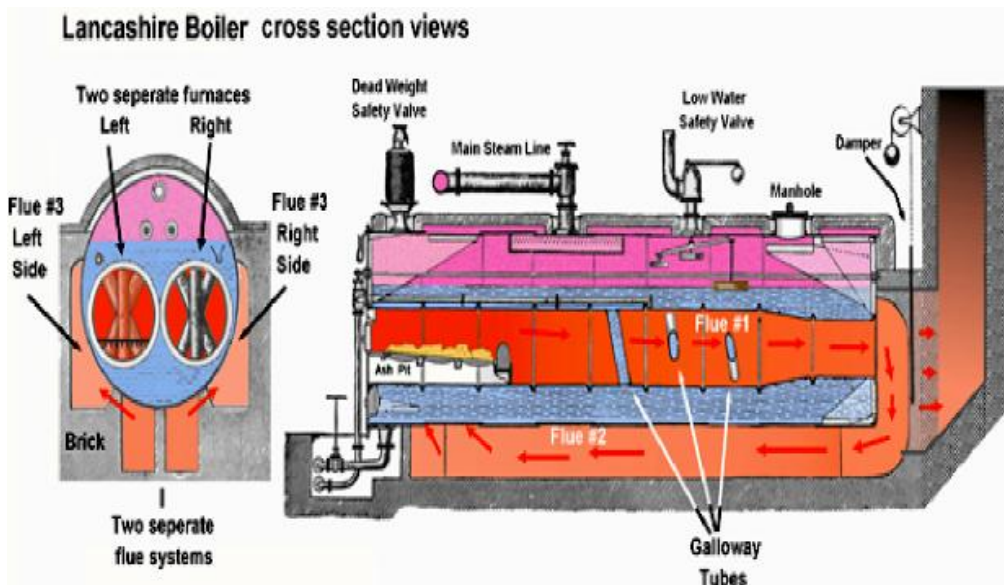


Gambar 4-7. Ketel Tegak. (Sumber: UNEP).

##### B. Ketel Mendatar (*Horizontal Steam Boiler*)

Adapun yang termasuk jenis ketel ini adalah ketel *Cornish*, *Lancashire* (tampak pada Gambar 4-8), *Scotch*, dan lain-lain.





Gambar 4-8. Ketel Mendatar (Lancashire).  
(Sumber: Murni, Buku ajar ketel uap, 2012)

#### 4.1.2.4. Berdasarkan Bentuk dan Letak Pipa

- A. Ketel dengan pipa lurus, bengkok, dan terlekak-lekuk (*straight, bent, and sinous tubuler heating surface*);
- B. Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak (*horizontal, inclined, atau vertical tubuler heating surface*).

#### 4.1.2.5. Berdasarkan Jenis Sirkulasi Air

##### A. Ketel Dengan Peredaran Alami (*Natural Circulation Steam Boiler*)

Merupakan boiler dengan peredaran air di dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik, sedangkan air yang berat turun, sehingga terjadi aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti Ketel Lancashire, Babcock & Wilcox, dan lain-lain.

##### B. Ketel dengan Peredaran Paksa (*Forced Circulation Steam Boiler*)

Merupakan boiler dengan aliran paksa yang diperoleh dari pompa sentrifugal yang digerakan oleh motor listrik. Contohnya sistem aliran paksa pada ketel-ketel bertekanan tinggi, misalnya La-Mont Boiler, Benson Boiler, Loeffler Boiler, dan Velcan Boiler.



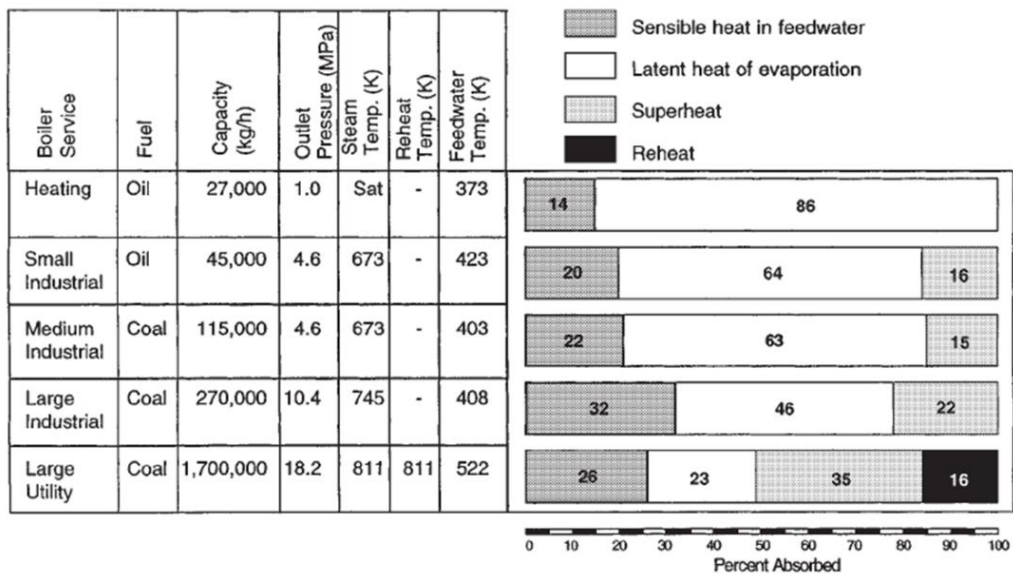
#### 4.1.2.6. Berdasarkan Tekanan Kerja

- A. Tekanan kerja rendah :  $\leq 5$  atm
- B. Tekanan kerja sedang :  $> 5 - 40$  atm
- C. Tekanan kerja tinggi :  $> 40 - 80$  atm
- D. Tekanan kerja sangat tinggi :  $> 80$  atm

#### 4.1.2.7. Berdasarkan Sumber Energi

- A. Ketel uap dengan bahan bakar alami;
- B. Ketel uap dengan bahan bakar buatan;
- C. Ketel uap dengan dapur listrik;
- D. Ketel uap dengan energi nuklir.

Penyerapan panas berbagai jenis pemakaian boiler.



Gambar 4-9. Besaran penyerapan panas.  
(Sumber: Handbook Perry).

## 4.2. PERSIAPAN AUDIT ENERGI SISTEM BOILER

Untuk memulai persiapan audit energi pada sistem boiler sebaiknya terlebih dahulu telah diperoleh data awal informasi industri/pabrik yang akan diaudit energinya. Data awal yang dimaksudkan di sini dapat diperoleh dengan 2 cara, yaitu: a) mengirimkan sebuah kuesioner atau Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran L 1-1) atau b) datang ke pabrik yang akan diaudit energinya untuk melakukan survei awal.

Apabila pilihan b) yang dilaksanakan maka pada saat survei awal tersebut Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (Lampiran L 1-1) juga dibawa serta sebagai panduan sekaligus diisi. Pilihan b) lebih menguntungkan karena Tim Survei (Awal) dapat memperoleh informasi yang lebih lengkap bila dibandingkan dengan mengandalkan data yang diisi oleh pihak pabrik melalui kuesioner.

Data awal ini sangat diperlukan untuk melakukan persiapan audit energi pada sistem boiler. Hal ini dikarenakan melalui data awal akan diperoleh informasi penting dan pokok, meliputi:

- Jumlah boiler;
- Spesifikasi boiler: tahun pembuatan dan/atau tahun beroperasi, merek, tipe boiler, jenis bahan bakar, kapasitas, tekanan dan temperatur uap, serta *heat rate*; dan
- Peralatan ukur yang terpasang di boiler serta kondisinya.

Berdasarkan data awal tersebut di atas maka persiapan untuk melakukan audit energi pada sistem boiler dapat dilakukan, meliputi:

1. Pembentukan tim dan pembagian tugas persiapan;
2. Persiapan administrasi dan teknis;
3. Persiapan dan pengarahan K-3; dan
4. Mobilisasi Personil dan Peralatan.

### 4.2.1. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 4.2.1.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan informasi dari data awal tersebut di atas maka dapat dipersiapkan jumlah dan keahlian personil yang akan melaksanakan audit energi, yaitu:

- a) Ahli teknik mesin atau sistem termal (1 orang) selaku koordinator tim;
- b) Teknisi (jumlah dan keahlian disesuaikan), untuk pengukuran:
  - Laju alir: bahan bakar, air umpan, uap, udara pembakaran, kondensat, *blowdown*;
  - Tekanan dan temperatur uap;
  - Temperatur dan kelembaban udara sekitar;
  - Temperatur permukaan boiler (radiasi);
  - Kualitas kondensat;
  - Komposisi dan temperatur gas buang.

#### 4.2.1.2. Pembagian Tugas

##### Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem boiler. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Boiler (lihat Lampiran 1-4) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem boiler di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Boiler (Lampiran 1-4); serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Melakukan analisis data yang dihasilkan dan menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem boiler ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i). Apabila audit energi pada sistem boiler ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem boiler saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

##### Teknisi bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem boiler. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- c). Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Boiler (Lampiran L 1-4);
- d). Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem boiler.

## 4.2.2. Persiapan Administrasi dan Teknis

### 4.2.2.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 4.2.1. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Di samping itu juga biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

### 4.2.2.2. Persiapan Teknis

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Peralatan audit energi pada sistem boiler terdiri atas peralatan-peralatan ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*). Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi sehingga akan menjamin ketepatan atau keakuratan nilai yang diperolehnya.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

#### A. Alat Ukur

Secara umum peralatan ukur yang diperlukan untuk melaksanakan audit energi pada sistem boiler meliputi:

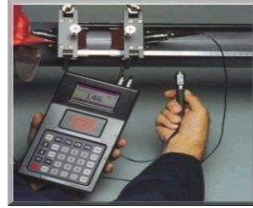
- a) *Flowmeter* mekanik/*rotary gear* atau *impeller*,
- b) *Flowmeter* elektrik,
- c) *Gas analyser orsat/pyrite*,
- d) *Gas analyser testo electric*,
- e) Alat ukur kelembaban (higrometer),
- f) Termokopel,

- g) Alat ukur temperatur permukaan radiasi,
- h) Timbangan berat,
- i) Tekanan,
- j) TDS meter,

#### 1. Alat Ukur Aliran Fluida Cair



*flowmeter mekanik*



*flowmeter elektrik-ultrasonik*

#### 2. Alat Ukur/Analisis Gas



*Gas Analyser "Orsat/Fyrite"*



*Gas Analyser (Elektronik)*

#### 3. Alat Ukur Kelembaban (Nisbi) dan Temperatur Udara

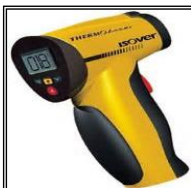


*Higrometer*



*Termokopel*

#### 4. Alat Ukur Temperatur Permukaan Radiasi



*Thermolaser*

## 5. Alat Ukur Tekanan dan Kadar Zat Terlarut



Manometer



Total Dissolved Solid (TDS) Meter

## B. Alat Pendukung

Alat pendukung yang diperlukan meliputi:

- Alat ukur panjang atau meteran
- Peralatan mekanik (*mechanical tool set*)
- Kabel (gulung) listrik
- Pompa hampa (*vacuum pump*) dan pendingin gas buang
- Tangga lipat.

### 1. Alat Ukur Panjang (Meteran) dan Peralatan Mekanik \*)



Meteran

(<http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20>)



Peralatan Mekanik

(<http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html>)

### 2. Kabel (Gulung) Listrik serta Pompa Hampa dan Pendingin Gas Buang \*)



Kabel-Gulung Listrik

(25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets)  
(<http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/>)



CCL-21

Pompa Vakum

<http://www.javac.co.uk/ccl-laboratory-vacuum-pump-uk-pr-16268.html>

### 3. Tangga Lipat dan Kamera Digital \*)



Tangga Lipat

(<http://www.tangga-lipat.co/2012/10/tangga-lipat-aluminium-praktis.html>)



Kamera Digital

(<http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/>)

Catatan : \*) Daftar peralatan tersebut di atas dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### C. Alat Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3)

Peralatan keselamatan dan kesehatan kerja yang diperlukan meliputi:

- a. Pelindung kepala (*helm*);
- b. Sarung tangan kain biasa dan tebal (untuk logam panas hingga ratusan derajat Celcius);
- c. Kaca mata;
- d. Pelindung telinga;
- e. Pelindung mulut dan hidung;
- f. Pakaian (baju dan celana panjang). Pada industri tertentu, jenis *coverall*;
- g. Sabuk pengaman;
- h. Sepatu.

Ilustrasi peralatan keselamatan kerja untuk audit energi pada sistem boiler di industri dapat dilihat pada Gambar 4-10.

 <p>Pelindung kepala (helmet)</p> <p>(<a href="http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603">http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga</p> <p>(<a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga (ear plug)</p> <p>(<a href="http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html">http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html</a>)</p>
 <p>Kacamata keselamatan (Hornets safety glasses)</p> <p>(<a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a>)</p>	 <p>Pelindung hidung-mulut (masks)</p> <p>(<a href="http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230">http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230</a>)</p>	 <p>Pelindung mulut dan hidung</p> <p>(<a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a>)</p>
 <p>Pelindung hidung-mulut (masks)</p> <p>(<a href="http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607">http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607</a>)</p>	 <p>Sarung-tangan kain</p> <p>(<a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a>)</p>	 <p>Sarung tangan anti panas</p> <p><a href="http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a></p>
 <p>Pakaian keselamatan</p> <p>(<a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a>)</p>	 <p>Tali/sabuk Pengaman</p> <p>(<a href="http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html">http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html</a>)</p>	 <p>Lampu senter</p> <p>(<a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-latin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-latin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a>)</p>

Catatan : Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Gambar 4-10. Ilustrasi perlengkapan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3) untuk audit energi pada sistem boiler di industri.



### 4.2.3. Persiapan dan Pengarahan K-3

Sebelum anggota tim diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, Koordinator wajib mengingatkan atau memberikan pengarahan (*briefing*) di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau lazim dikenal dengan sebutan K-3. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

### 4.2.4. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan personil di industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## 4.3. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER

Tahap pengumpulan data primer dan sekunder dapat disebut dengan tahap pengukuran. Pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data primer. Misalnya, untuk mendapatkan data laju alir air umpan boiler (*feed water*), misalnya, auditor perlu melakukan pengukuran secara langsung.

Pengukuran dilaksanakan tanpa mengganggu aktivitas pabrik. Artinya, selama dilakukan pengukuran, maka sistem boiler di pabrik tetap beroperasi sebagaimana mestinya.

### 4.3.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Sebelum kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder dilaksanakan, tim auditor disarankan untuk melakukan prosesi pembukaan kepada pemilik atau pengelola industri - lazim disebut dengan auditee atau pihak yang akan diaudit - sebagaimana layaknya seorang tamu. Langkah pembukaan ini merupakan langkah awal yang akan mengantarkan auditor melaksanakan langkah kegiatan selanjutnya.

Pada rapat pembukaan/*opening meeting*, Tim Auditor memaparkan data-data boiler yang dibutuhkan. Di samping itu pengenalan tim survei/audit, pemaparan latar belakang, maksud, tujuan dan lingkup survei, pemaparan tim *auditee* tentang sistem

yang disurvei dan pemaparan agenda survei. Perkenalan tim auditor sistem boiler dan tim *auditee* dilakukan pula pada acara ini. Pengenalan tim dimaksudkan agar masing-masing pihak dapat mengetahui siapa saja yang akan melakukan survei lapangan.

Dalam pengenalan tim, ketua tim survei harus memperkenalkan nama anggota tim, posisi serta tugasnya di dalam survei. Jika diperlukan, dapat ditambahkan latar belakang dan kompetensi anggota tim, supaya komunikasi dengan pihak *auditee*/obyek survei dapat lebih mudah. Dari pihak *auditee*, harus diperkenalkan juga siapa yang bertanggungjawab dan mendampingi dalam pengumpulan data sistem boiler.

### 4.3.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

#### 4.3.2.1. Pengumpulan Data Primer

##### A. Data yang Dibutuhkan

Data primer yang dibutuhkan selengkapnya dapat melihat Lembar Isian Sistem Boiler pada Lampiran 1-4. Secara umum data primer yang harus diperoleh - melalui pengukuran - meliputi:

- a) Bahan Bakar : - laju alir, [ton/jam] atau [kl/jam]  
- temperatur, [°C]
- b) Air Umpan Boiler : - laju alir, [ton/jam]  
- temperatur, [°C]
- c) Uap (hasil) : - laju alir, [ton/jam]  
- temperatur, [°C]  
- tekanan, [kg/cm<sup>2</sup>]
- d) Gas Buang : - kadar O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan CO, [%]  
- temperatur, [°C]
- e) Udara Pembakaran: - laju alir, [ton/jam] atau [m<sup>3</sup>/jam]  
- temperatur, [°C]
- f) *Blowdown* : - laju alir, [ton/jam]  
- temperatur, [°C] dan TDS, [ppm]
- g) Dinding Boiler : - temperatur permukaan, [°C]

##### B. Periode Pengukuran

Secara umum pengukuran untuk mendapatkan data primer dilakukan secara berkala, namun diupayakan pada saat yang bersamaan. Pengukuran secara kontinyu dan bersamaan tentu akan lebih baik, sekalipun pada kenyataannya relatif sulit untuk dilaksanakan.

##### C. Penentuan Titik Pengukuran

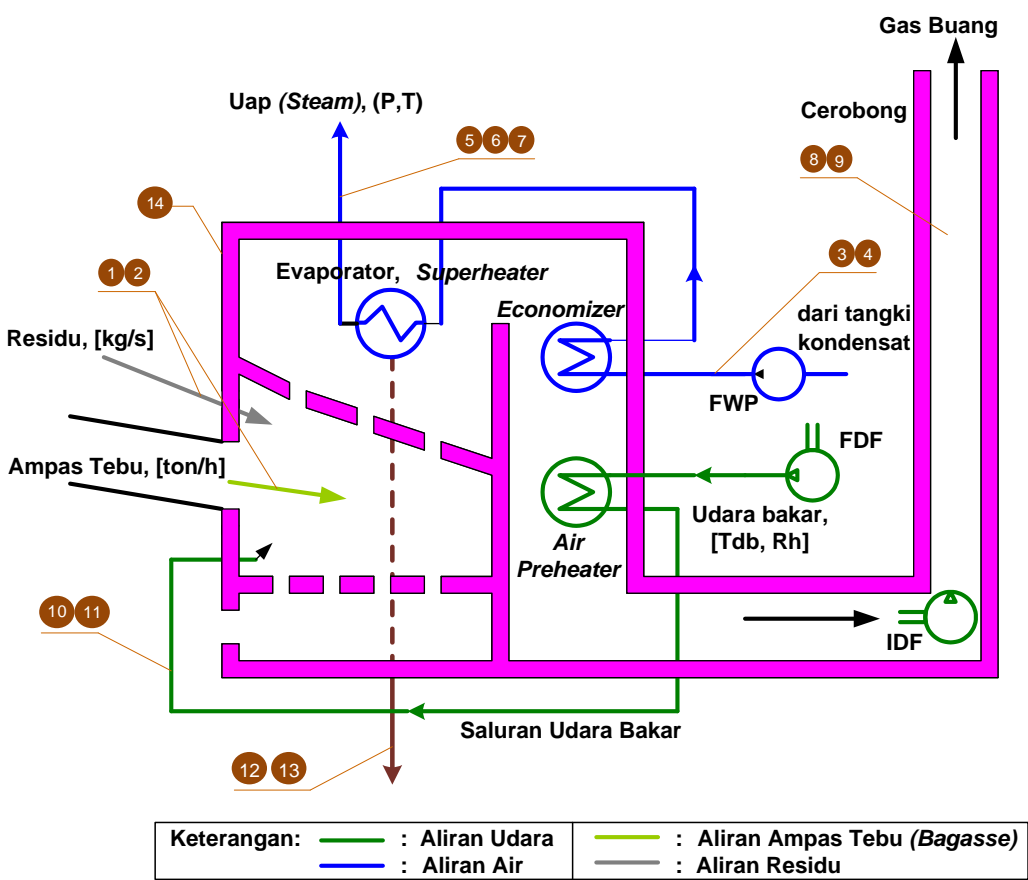
Sebelum berangkat menuju lokasi atau sebelum melakukan pengukuran untuk pengambilan data primer, Koordinator Tim memberikan penjelasan kepada para

anggotanya perihal titik-titik pengukuran.

Yang dimaksud dengan titik-titik pengukuran adalah titik atau lokasi untuk dipasangnya alat-alat ukur.

Melalui sebuah gambar (lihat Gambar 4-11) Koordinator Tim menjelaskan di mana saja alat-alat ukur akan ditempatkan atau dipasang. Tempat-tempat ini sesuai dengan rancangan atau skenario data primer yang diperlukan untuk evaluasi. Terdapat 11 titik pengukuran sebagaimana diuraikan di bawah.

Sebagai catatan, apabila di suatu titik ukur ternyata terdapat alat ukur milik pabrik yang terpasang dan akurat pembacaannya, maka cukup memanfaatkan alat ukur pabrik ini untuk mendapatkan data primer yang diharapkan. Dengan demikian pada titik tersebut tidak perlu dipasang alat ukur lagi.



Gambar 4-11. Titik pengukuran pada boiler.

Keterangan Gambar 4-11:

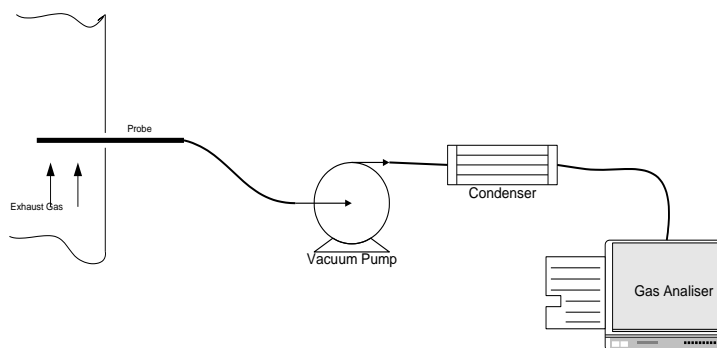
- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Laju alir bahan bakar, [ton/jam]   | 8. Komposisi gas buang, [%]                                   |
| 2. Temperatur bahan bakar, [°C]       | 9. Temperatur gas buang, [°C]                                 |
| 3. Laju alir air umpan, [ton/jam]     | 10. Laju alir udara bakar, [m <sup>3</sup> /jam]              |
| 4. Temperatur air umpan, [°C]         | 11. Temperatur udara bakar, [°C]                              |
| 5. Laju alir uap, [ton/jam]           | 12. Laju alir pembuangan lumpur, [ton/jam]                    |
| 6. Temperatur uap, [°C]               | 13. <i>Total Dissolve Solid (TDS)</i> , [ppm]                 |
| 7. Tekanan uap, [kg/cm <sup>2</sup> ] | 14. Temperatur permukaan dinding dan <i>blow water</i> , [°C] |

Lokasi pemasangan alat ukur harus disepakati dengan *auditee*. Jika diperlukan tambahan pekerjaan untuk pemasangan alat ukur harus disetujui oleh pihak *auditee* dan dikerjakan sebelum survei lapangan dilaksanakan. Pemasangan peralatan ukur harus didampingi oleh pihak *auditee* atau jika memungkinkan dilakukan oleh pihak *auditee* dengan supervisi dari auditor. Setiap data primer yang diperoleh dicatat dan dimasukkan ke dalam berita acara pengumpulan data primer untuk disampaikan dan disetujui oleh pihak *auditee* pada saat pertemuan penutup.

## D. Pelaksanaan Pengukuran

### D.1. Pengukuran Gas Buang dan Temperatur Dinding Boiler

Pengukuran gas buang pada ketel dilakukan dengan menggunakan *gas analyser* jenis *Bacharach 300*. Parameter yang diukur meliputi: komposisi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, efisiensi pembakaran, udara lebih (*excess air*), dan temperatur gas buang. Pengukuran komposisi gas dilakukan pada setiap cerobong keluaran ketel. Diagram dan kegiatan pengukuran dengan menggunakan *gas analyser* dapat dilihat pada Gambar 4-12.1 s.d 4-12.3.



Gambar 4-12.1



Gambar 4-12.2



Gambar 4-12.3

Gambar 4-12 (1,2, dan 3). Skema pengukuran komposisi gas buang.

## D.2. Air Boiler

Pada pengukuran kinerja unit ketel dilakukan pengujian terhadap kualitas air ketel yang digunakan. Pengujian dilakukan pada air umpan ketel sebelum masuk ketel dan air lumpur terbuang (*blowdown*). Parameter yang diukur adalah *total dissolved solid (TDS)* air, laju alir air lumpur terbuang, dan temperaturnya.

Salah satu parameter yang bisa diukur adalah kandungan padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid (TDS)*). Untuk ketel dengan tekanan uap yang dihasilkan 20 kg/cm<sup>2</sup> maka batas TDS yang diperbolehkan adalah 3.500 ppm. Sedangkan dari hasil pengukuran TDS terhadap masing-masing ketel seperti terlihat pada Tabel 4-2. Untuk menjaga kualitas air ketel tersebut biasanya dilakukan pembuangan air ketel lumpur terbuang, baik secara kontinyu (*continous blowdown*) maupun secara berkala (*intermitent blowdown*).

Tabel 4-2  
Hasil pengukuran air lumpur terbuang suatu ketel

No	Parameter	Satuan	Boiler			
			I	II	III	IV
1	Laju alir lumpur terbuang (intermiten & kontinyu)	ton/jam	0,715	1,863	0,450	0,336
2	TDS	ppm	1.120	1.377	773	1.120
3	pH		9,5	9,6	10	9,5
4	Kesadahan		0,5	0,5	0,5	0,5
5	Laju alir lumpur terbuang maksimum	ton/jam	2,293	1,767	2,95	0,889

Dari hasil pengukuran TDS air umpan ketel tersebut maka dapat dilakukan estimasi terhadap jumlah laju alir air lumpur terbuang yang optimal, dengan metode perhitungan air lumpur terbuang.

$$\text{Blow down, [\%]} = \frac{\text{TDS Air Umpan}}{\text{TDS Diizinkan pada Boiler} - \text{TDS Air Umpan}} \times 100\%$$

Contoh:

Boiler/ketel dengan kapasitas 20 ton/jam, tekanan menengah.

TDS dalam *feed water* = 300 ppm

Maksimum TDS yang diizinkan = 3.500 ppm (tekanan menengah)

TDS dalam air lumpur = 1.120 ppm

Maka persentase air lumpur terbuang (*blowdown*) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Air lumpur terbuang} &= [300/(3500-300)] \times 100\% \\ &= 11,11 \, \% \end{aligned}$$

Dengan kapasitas ketel 20 ton.jam ( =20.000 kg/jam), maka laju alir air lumpur yang seharusnya dibuang = 20.000 x 11,11% = 2.222 kg/jam.  
= 2,2 ton/jam.

Secara umum rugi-rugi air lumpur terbuang di semua ketel relatif kecil, hal ini dapat dilihat dari TDS air umpan ketel dan TDS pada waktu pembuangan air lumpur terbuang. Jika persyaratan air lumpur terbuang sudah terpenuhi, jumlah dan kualitasnya mencukupi, maka rugi-rugi air lumpur terbuang cukup diasumsikan sekitar 1%.

Untuk menaikkan efisiensi ketel dapat juga dengan menaikkan temperatur air umpan ketel dari 100 °C menjadi 105 °C dengan memanfaatkan panas buang dari kondensat atau gas buang dengan mempertimbangkan:

- Tinggi tangki air umpan, untuk temperatur 105 °C tinggi minimal dari tangki deaerator adalah 12,5 m guna menyesuaikan dengan NPSH pompa.
- Kemampuan alat ukur laju alir, tekanan air umpan terhadap temperatur.



Gambar 4-13. Pengukuran air lumpur terbuang.

Dari Tabel 4-3 semua ketel tersebut telah memenuhi syarat untuk air umpan ketel, yaitu TDS di bawah 3.500 ppm, dan jumlah pembuangannya tidak melebihi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 4-3  
Parameter kualitas air umpan

BOILER								
No	PARAMETER		DEIONIZER		BOILER		PCC DEMIN	
		UNIT	STANDARD	ACTUAL	STANDARD	ACTUAL	STANDARD	ACTUAL
1	PH		8-9.5	7.18	10-11.5	11.16		9.62
2	P ALKALINITY	ppm			max 350			
3	MALKALINITY	ppm			max 1200			
4	O ALKALINITY	ppm			>2.5 x silica			
5	SILICA	ppm	< 5		< 150			
6	TDS	ppm		900	< 4000			
7	CONDUCTIVITY	μS	< 35	3,072	<3500	995.6		49.36
8	Ca(CaCO3)	mg/l	trace		trace			
9	Mg (CaCO3)	mg/l	trace		trace			
10	IRON	ppm	max 0.2		<2			
11	HYDRAZINE	ppm	0.3-0.9		0.2-0.5			
12	RESIDUAL N 7203	ppm			80-200			
13	NaCl	ppm	trace		max400			
14	TVC	-	-	-	-	-	-	-
COOLING TOWER								
NO	PARAMETER	UNIT	STANDARD	CT EVAP	CT DISTILL	CT BLEACH	CT TALC S	CT DRYER
1	PH		7.6-8.5				7.70	8.38
2	CONDUCTIVITY	μS	<3500				518.8	1831
3	ORTHO PHOSPATE	ppm	6-12					
4	TURBIDITY	NTU	<20					
5	RESIDUAL CLORINE	ppm						
6	TVC	CFU/ml	<100000					
CHILLER WATER								
NO	PARAMETER	UNIT	STANDARD			ACTUAL		
1	PH		7.6-8.5			7.94		
2	CONDUCTIVITY	μS	<3500			1139		
3	TURBIDITY	NTU	<20					
4	SILICA	ppm						
5	TVC	CFU/ml	<100000					
BOREHOLE WATER								
NO	PARAMETER	UNIT	STANDARD	B H 1	B H 2	B H 3	B H TANK	
1	PH		7.6-8.5	7.35			7.62	
2	CONDUCTIVITY	μS	<3500	497.6			126.6	
3	TURBIDITY	NTU	6-12					
4	SILICA	ppm	<20					
5	TVC	CFU/ml	<100000					
TOWN TOWER								
NO	PARAMETER	UNIT	STANDARD	KAB	KODYA	COND BLEACH	COND DRYER	
1	PH		7.6-8.5	7.13	6.89	6.94	8.11	
2	CONDUCTIVITY	μS	<3500	188	165.5	25.93	8,713	
3	TURBIDITY	NTU	6-12					
4	SILICA	ppm	<20					
5	TVC	CFU/ml	<100000					

### D.3. Pengukuran Air Umpan Boiler

Data yang diperlukan adalah laju alir dan temperatur air umpan boiler. Laju alir air umpan boiler (*feed water*) diukur dengan alat *ultrasonic flowmeter*. Sedangkan temperatur air umpan boiler diukur dengan termometer. Sekiranya di industri tersebut sudah tersedia atau terpasang alat ukur laju alir dan temperatur yang akurat maka auditor dapat memanfaatkan alat tersebut untuk mendapatkan datanya. Pengukuran dan/atau pencatatan data ini dilakukan berulang-ulang dengan interval waktu tertentu guna mendapatkan data yang *valid*.

### D.4. Pengukuran Uap yang Dihasilkan

Data yang diperlukan adalah laju alir, tekanan, dan temperatur uap (*steam*) yang dihasilkan boiler. Laju alir uap dapat diukur dengan alat *ultrasonic flowmeter*. Sedangkan tekanan dan temperatur uap masing-masing diukur dengan barometer dan termometer. Sekiranya di industri tersebut sudah tersedia atau terpasang alat ukur ketiga parameter itu dan pembacaannya akurat maka auditor dapat memanfaatkan alat tersebut untuk mendapatkan datanya. Pengukuran dan/atau pencatatan data ini dilakukan berulang-ulang dengan interval waktu tertentu guna mendapatkan data yang valid.

### D.5. Pengukuran Bahan Bakar

Pengukuran dilakukan terhadap laju alir dan temperatur bahan bakar yang akan masuk ke boiler.

### D.6. Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Nisbi Udara Sekitar

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat termometer dan higrometer.

### D.7. Analisis *Ultimate* atas Bahan Bakar

Contoh (*sample*) bahan bakar diambil dan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai (persentase): karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), kadar air, dan abu.

### D.8. Analisis Abu

Contoh (*sample*) abu hasil pembakaran di dalam boiler diambil dan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai (%) bahan bakar yang masih terdapat di dalam abu. Selain itu juga dianalisis nilai kalori abunya.

## E. Evaluasi Awal Hasil Pengukuran

Evaluasi data awal hasil pengukuran dapat dilakukan di lokasi tempat pengambilan data. Hal ini penting untuk memastikan bahwa data yang terukur sudah betul. Evaluasi awal hasil pengukuran ini bisa didiskusikan dengan orang yang



mengetahui peralatan yang kita ukur atau bisa juga dibandingkan dengan spesifikasi peralatan yang diukur.

#### 4.3.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang perlu dikumpulkan adalah:

- Data historis tentang uji kinerja (*performance test*) dan komisioning yang pernah ada;
- Data historis operasional (*log*) harian boiler/ketel, yang terdiri atas data konsumsi atau laju alir bahan bakar, harga bahan bakar, suhu, tekanan, laju alir air umpan, kualitas air, dan pengoperasian.
- Pendalaman data dari operator: persentase beban dan beberapa lainnya.

Cara pengumpulan data dapat berupa kuesioner, fotokopi, *copy file*, dan wawancara. Kuesioner disusun dan dikirimkan kepada pihak *auditee* sebelum survei lapangan dilakukan, kemudian dilakukan verifikasi pada saat survei lapangan.

#### 4.3.2.3. Lembar Kerja

Untuk mencatat hasil pengukuran dibuat dalam bentuk lembar kerja (lihat Lampiran 1-4). Bagian dari lembar kerja (kinerja boiler; lembar pengumpulan data; lembar analisis bahan bakar) dan cara yang lain (daftar pemeriksaan kinerja boiler; aturan umum (aturan dari pengalaman). Lembar kerja ini dikutip dari panduan kegiatan GERIAP (*Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific*).

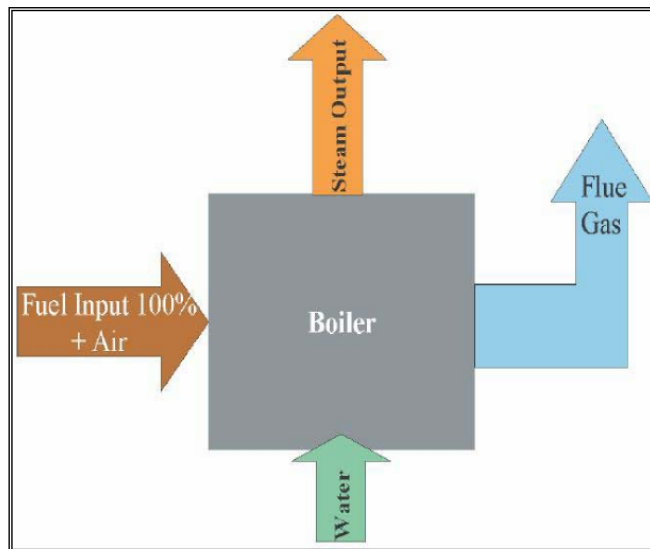
### 4.4. ANALISIS

#### 4.4.1. Perhitungan Kinerja/Efisiensi Boiler

Ada beberapa acuan untuk evaluasi kinerja boiler, misalnya *British Standard (BS 845: 1987)* dan *USA Standard (ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units)*. Pengukuran ini dilakukan pada beberapa beban dengan variasi 100%, 75%, 50% setiap 15 menit selama 2 jam, dengan asumsi beban uap dalam kondisi stabil.

##### 4.4.1.1. Perhitungan Efisiensi dengan Metode Langsung (*Direct Efficiency*)

Perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung (*direct efficiency*) merupakan perhitungan efisiensi yang menggunakan perbandingan antara fluida kerja (air dan uap) dengan energi yang terkandung di dalam bahan bakar, sesuai dengan ilustrasi Gambar 4-14.



Gambar 4-14. Skema metode efisiensi langsung (*direct method*)  
(Sumber: *Buerau of Energy Efficiency*)

Untuk menghitung efisiensi-langsung boiler, parameter operasi yang perlu dicatat adalah:

- a. Air Umpan Boiler : - Laju alir, [kg/jam]  
- Temperatur, [°C]  
- Entalpi, [kcal/kg]
- b. Uap yang Dihasilkan : - Laju alir, [kg/jam]  
- Temperatur, [°C]  
- Tekanan, [kg/cm<sup>2</sup>]  
- Entalpi, [kcal/kg]
- c. Bahan Bakar : - Laju alir, [kg/jam]  
- Temperatur, [°C]  
- Nilai Kalori (*Gross*), [kcal/kg]

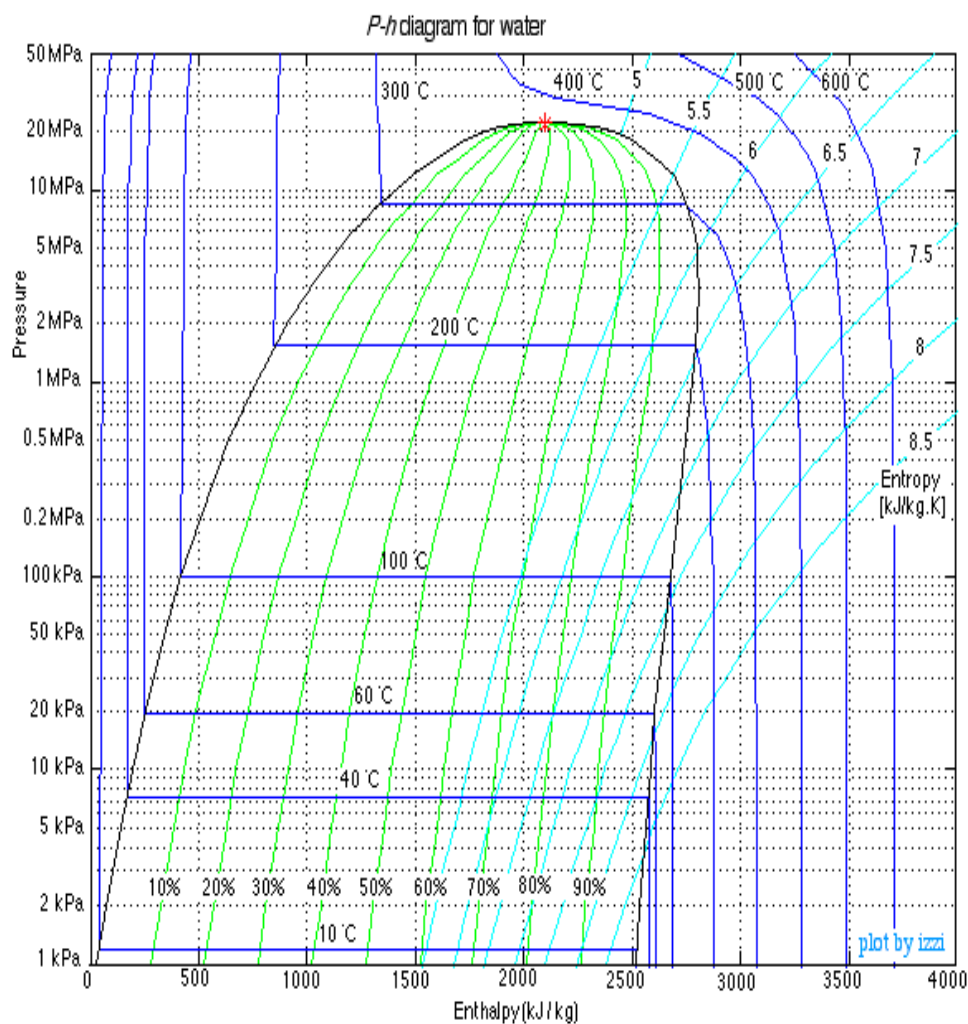
Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dengan metode langsung (*direct*) sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{\text{Jumlah panas Uap yang dibangkitkan, } Q_s \text{ (kcal)}}{\text{Jumlah panas pembakaran bahan baker, } Q_f \text{ (kcal)}} \times 100 \%$$

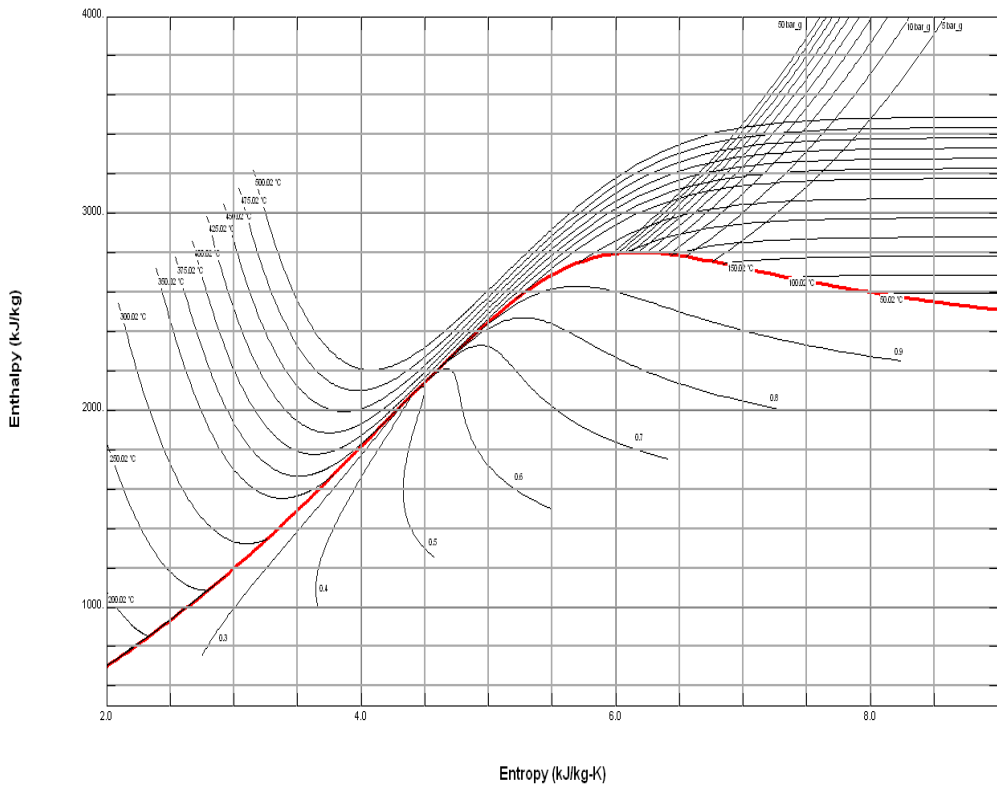
$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100$$

Keterangan:

- $\eta$  : Efisiensi boiler, [%]
- $Q$  : Jumlah uap yang dihasilkan, [kg/jam]
- $h_g$  : Entalpi masing-masing kondisi uap, yang didapat dari diagram P-H atau tabel uap, [kcal/kg]
- $h_f$  : Entalpi masing-masing kondisi air umpan, [kcal/kg]
- $q$  : Jumlah bahan bakar yang digunakan, [kg/jam]
- GCV : *Gross Calorific Value* (Nilai kalori bahan bakar, *Gross*), [kcal/kg]



Gambar 4-15. Tekanan versus Entalpi (Diagram Mollier).



Gambar 4-16. Entropi versus Entalpi (Diagram Mollier).  
(Sumber: Keenan and Keyes)

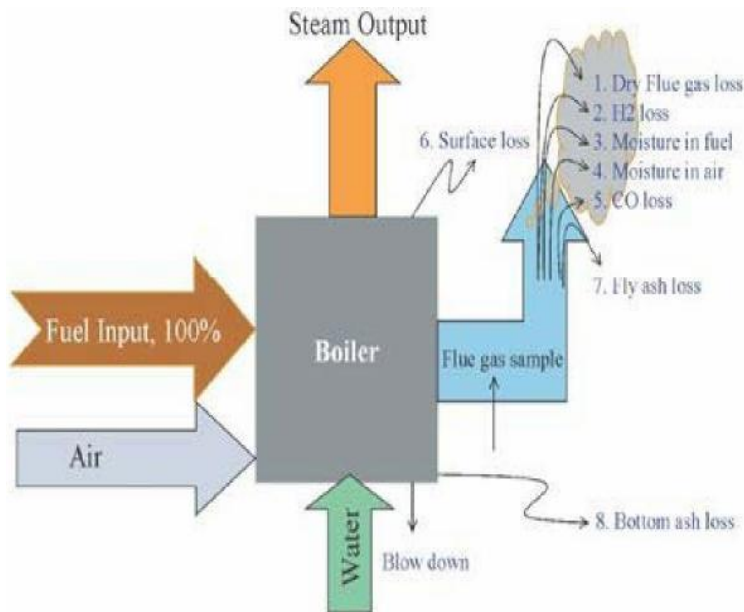
#### 4.4.1.2. Perhitungan Efisiensi dengan Metode Tidak Langsung (*Indirect Efficiency*)

Perhitungan Efisiensi dengan Metode Tidak Langsung (*Indirect Efficiency*) merupakan perhitungan efisiensi boiler yang menggunakan perbandingan antara kehilangan energi dengan energi yang masuk sesuai ilustrasi pada Gambar 4-17.

Adapun persamaan untuk menghitung efisiensi boiler dengan metode ini adalah sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi Boiler, } E (\%) = 100\% - (\% \text{ Kehilangan panas total})$$

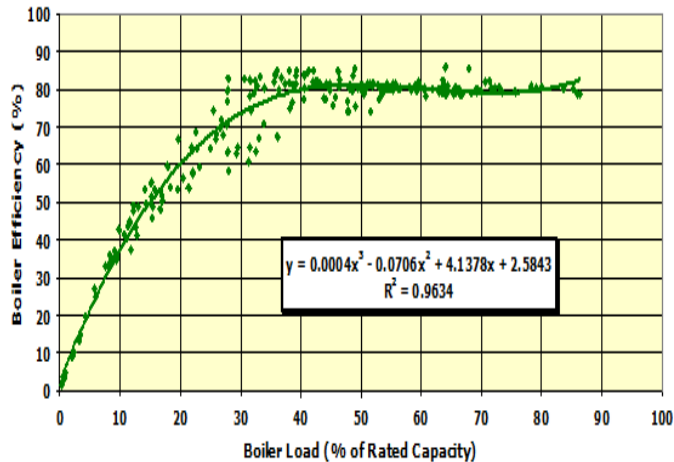
*Input* merupakan energi panas yang diperoleh dari tranformasi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar, sehingga *input* merupakan nilai kalori bahan bakar. Sedangkan untuk *losses* atau kerugian didapat seperti tampak pada ilustrasi Gambar 4-17.



Gambar 4-17. Skema metode tidak langsung.  
(Sumber: Bureau of Energy Efficiency).

Secara prinsip rugi-rugi/kehilangan panas total pada boiler terdiri atas:

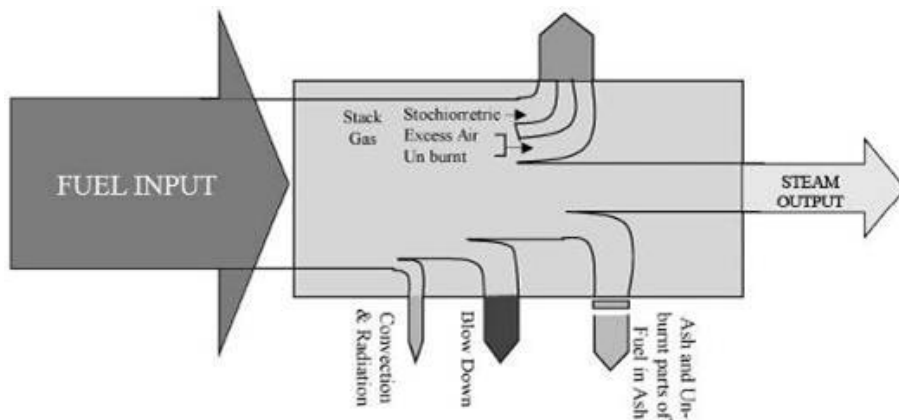
- a. Kerugian panas karena gas panas kering/panas gas buang (*loss of heat due to dry gas*);
- b. Kerugian panas karena kandungan hidrogen dalam bahan bakar (*H<sub>2</sub> in fuel*). Hidrogen yang bereaksi dengan oksigen menghasilkan air;
- c. Kerugian panas karena kandungan air dalam bahan bakar (*moisture in fuel*);
- d. Kerugian panas karena kandungan air dalam udara (*moisture in air*);
- e. Panas oleh pembakaran Hidrogen (*loss of heat due to combustion of hydrogen*);
- f. Kerugian panas karena karbon monoksida (*CO loss*);
- g. Karbon tak terbakar (*loss of heat due to unburnt carbon*);
- h. Kerugian karena tidak terbakarnya *fly ash* (carbon);
- i. Kerugian karena tidak terbakarnya *bottom ash* (carbon);
- j. Panas sensibel dalam abu (*loss of heat due to sensible heat in refuse*);
- k. Kerugian panas karena permukaan radiasi, konveksi, dan yang tidak terhitung lainnya.



Gambar 4-18. Kurva tipikal efisiensi boiler berbahan bakar gas alam.

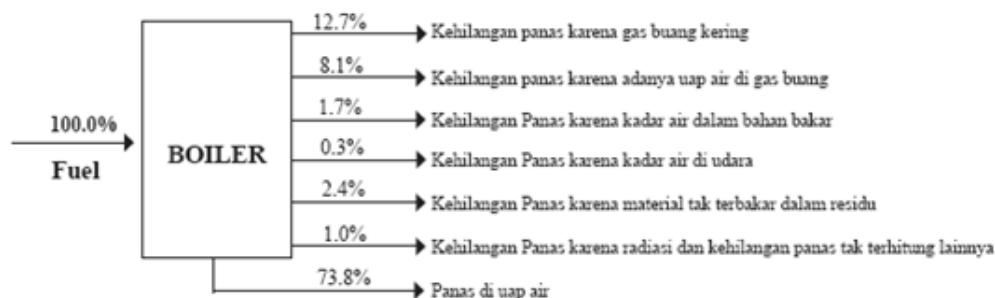
#### 4.4.2. Neraca Panas

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi langsung dan tidak langsung dibuat neraca panas atau neraca energi dalam bentuk diagram Sankey, seperti pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19. Diagram Sankey neraca panas.

Proses pembakaran dalam suatu boiler dapat diuraikan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menunjukkan gambaran grafis bagaimana masukan energi dari bahan bakar diubah menjadi berbagai aliran energi yang bermanfaat menjadi panas dan aliran energi yang hilang. Ketebalan panah menandai banyaknya energi yang terdapat di arus masing-masing. Neraca energi adalah suatu keseimbangan total energi yang masuk boiler dan keluar boiler dalam bentuk berbeda. Diagram berikut menggambarkan berbagai kehilangan energi yang terjadi dalam membangkitkan uap air.



Gambar 4-20. Kerugian panas pada boiler berbahan bakar batubara (*coal fired boiler*).  
(Refrensi: *National Productivity Council, Field Experience*)

### 4.4.3. Konservasi Energi Pada Boiler

Untuk meningkatkan efisiensi boiler, pendekatan *losses*, menghitungnya kemudian jika mungkin menurunkannya terutama pada salah satu *losses* yang paling dominan pengaruhnya pada efisiensi boiler dan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler.

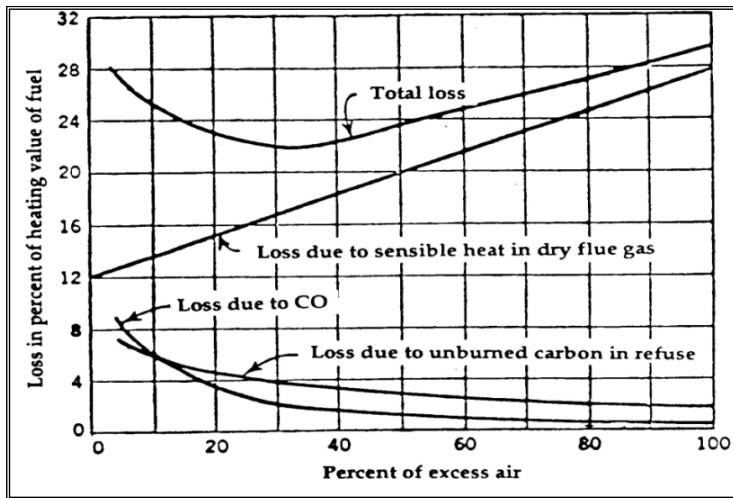
Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler. Dalam beberapa hal sifat dan besarnya dapat diketahui dan bahkan dihitung. Faktor-faktor tersebut adalah: 1) faktor kelebihan udara (*excess air*), 2) Alat Pembakar (*burner*), 3) beban boiler (*firing rate*), 4) temperatur gas buang, 5) temperatur air umpan, 6) penggunaan kondensat, g) pengaruh pengerakan pada pipa, h) air lumpur (*blow down water*), 7) kehilangan panas pada bagian luar boiler, 8) tekanan uap, dan 9) pengaruh bahan bakar.

#### 4.4.3.1. Faktor Kelebihan Udara (*Excess Air*)

Pembakaran di dalam sistem boiler selalu membutuhkan udara lebih dengan maksud untuk mencapai pembakaran sempurna. Besarnya jumlah udara lebih tertentu dan banyak yang mempengaruhinya. Untuk meningkatkan efisiensi boiler harga *excess air* dapat diatur. *Excess air* yang terlalu rendah menyebabkan pembakaran kurang sempurna sehingga terbentuk gas CO. Sedangkan *excess air* yang terlalu tinggi meningkatkan kerugian panas yang terbawa oleh *flue gas* keluar cerobong. Oleh karena itu terdapat harga optimal untuk *excess air* suatu boiler. Dengan perkataan lain terdapat perbandingan tertentu (*air/fuel ratio*) antara udara pembakaran dengan bahan bakar sehingga boiler akan bekerja dengan efisiensi terbaiknya.

Tabel 4-4.  
Efisiensi pembakaran dengan udara lebih (*exceeds air*)

Udara Lebih, [%]		Efisiensi Pembakaran pada Temperatur Gas Buang, [%]				
Udara	Oksigen	200 °F	300 °F	400 °F	500 °F	600 °F
9,5	2,0	85,4	83,1	80,8	78,4	76,0
15,0	3,0	85,2	82,8	80,4	77,9	75,4
28,1	5,0	84,7	82,1	79,5	76,7	74,0
44,9	7,0	84,1	81,2	78,2	75,2	72,1
81,6	10,0	82,8	79,3	75,6	71,9	68,2



Gambar 4-21. Grafik efisiensi versus perbandingan udara lebih.

Tabel 4-5  
Efisiensi dan faktor udara lebih untuk berbagai jenis bahan bakar.

Bahan Bakar	Faktor Udara	Oksigen, [%]	Efisiensi, [%]
Minyak	1,1 - 1,3	2 - 5	88 - 92
Gas	1,09 - 1,2	1,9 - 3,5	88 - 93
Batubara:			
Batubara Halus ( <i>Pulverized</i> )	1,25 - 1,30	4,3 - 4,9	90 - 94
<i>Travelling Grate</i>	1,35 - 1,40	5,5 - 6,6	84 - 88
<i>Underfeed Stokers</i>	1,40 - 1,60	6,1 - 7,9	80 - 85
<i>Fluidized Bed</i>	1,20 - 1,35	3,6 - 5,6	86 - 91
Kayu dan Gambut:			
Kayu Halus	1,30 - 1,40	4,8 - 5,9	87 - 91
Gambut Halus	1,30 - 1,40	4,8 - 5,9	85 - 89
<i>Water Cooled Grate</i>	1,30 - 1,45	4,8 - 6,4	82 - 86
<i>Cyclone Oven</i>	1,20 - 1,35	3,5 - 5,4	84 - 87
<i>Oven with Stable Grate</i>	1,35 - 1,55	5,4 - 7,4	78 - 82
<i>Fluidized Bed</i>	1,20 - 1,35	3,5 - 5,4	86 - 91



Tabel 4-6  
Data pembakaran teoritis pada bahan bakar umum boiler.

Bahan Bakar	kg Udara/ kg Bahan Bakar	kg Gas Buang/ kg Bahan Bakar	m <sup>3</sup> Gas Buang/ kg Bahan Bakar	% CO <sub>2</sub> Teoritis dalam Gas Buang	% CO <sub>2</sub> Kenyataan dalam Gas Buang
<b>Padat:</b>					
Ampas Tebu	3,2	3,43	2,61	20,65	10 - 12
Batubara ( <i>bituminous</i> )	10,8	11,7	9,40	18,70	10 - 13
<i>Lignite</i>	8,4	9,10	6,97	19,40	09 - 13
Sekam Padi	4,6	5,63	4,58	19,80	14 - 15
Kayu	5,8	6,4	4,79	20,30	11 - 13
<b>Cair:</b>					
<i>Furnace Oil</i>	13,9	14,30	11,50	15,00	9 - 14
LSHS	14,04	14,63	10,79	15,50	9 - 14

Tabel 4-7  
Harga kalor kotor GCV dan harga kalor bersih NCV  
untuk beberapa bahan bakar dan efisiensi.

Particular	Bahan Bakar					
	Batubara	Sekam Padi	Lignite (Neyveli)	Ampas Tebu	Furnace Oil	Gas Bio
GCV, [kcal/kg]	3.800	3.275	2.890	2.272	10.200	4.098
NCV, [kcal/kg]	3.623	2.980	2.439	1.812	9.596	3.695
Efisiensi (Basis GCV)	84	80	74	69	87	83
Efisiensi (Basis NCV)	88,1	87,9	87,7	86,5	92,4	92,0

Tabel 4-8  
Tingkat faktor udara lebih pada beberapa bahan bakar

Bahan Bakar	Tipe Pembakar	Udara Lebih, [% berat]
Batubara Halus	Tanur berpendingin air lengkap untuk pengeluaran <i>slag</i> atau abu kering	15 - 20
	Tanur berpendingin air sebagian untuk pengeluaran abu kering	15 - 40
Batubara	<i>Spread Stoker</i>	30 - 60
	<i>Water-cooler vibrating-grate stokers</i>	30-60
	<i>Chain-grate and traveling-grate stokers</i>	15-50
	<i>Underfeed stoker</i>	20-50
Minyak	<i>Oil burners, register type</i>	15-20
	Multi-bahan bakar <i>burners and flat-flame</i>	20-30
Gas Alam	<i>High pressure burner</i>	5-7
Kayu	<i>Dutch over (10-23% through grates) and Hoffft type</i>	20-25
Ampas Tebu	Semua Tanur	25-35
<i>Black Liquor</i>	<i>Recovery furnaces for draft and soda-pulping processes</i>	30-40

#### 4.4.3.2. Faktor Alat Pembakar (*Burner*)

Fungsi *burner* adalah mencampur udara pembakaran dan bahan bakar dengan perbandingan di atas batas kemampuan nyala secara kontinyu untuk menghasilkan pembakaran yang *steady*. Kinerja *burner* mempunyai pengaruh yang penting terhadap efisiensi boiler, karena mempengaruhi kebutuhan *excess air*. *Burner* yang baik akan membentuk campuran bahan bakar dan udara pembakaran dengan *excess air* yang minimum. Penyetelan *burner* yang kurang tepat pada semua interval beban boiler akan dapat menyebabkan tinggi atau rendahnya nilai *excess air*.

Tabel 4-9  
Komposisi gas buang yang disarankan.

Pembakaran Baik dan Buruk			
	Satuan	Baik	Buruk
Uap	ton/jam	20	20
Temperatur Gas Buang	°C	200	300
CO <sub>2</sub>	%	12	10
O <sub>2</sub>	%	7,5	9,8
CO	%	0,01	0,5
Soot	gr/kg batubara	20	30

Tabel 4-10  
Parameter kontrol gas buang.

Typical Flue Gas Oxygen Content Control Parameters								
Fuel	Automatic Control		Positioning Control		Automatic Control		Positioning Control	
	Flue Gas O <sub>2</sub> Content		Flue Gas O <sub>2</sub> Content		Excess Air		Excess Air	
	Min. [%]	Max. [%]	Min. [%]	Max. [%]	Min. [%]	Max. [%]	Min. [%]	Max. [%]
Natural Gas	1.5	3.0	3.0	7.0	9	18	18	55
Numb. 2 Fuel Oil	2.0	3.0	3.0	7.0	11	18	18	55
Numb. 6 Fuel Oil	2.5	3.5	3.5	8.0	14	21	21	65
Pulverized Coal	2.5	4.0	4.0	7.0	14	25	25	50
Stoker Coal	3.5	5.0	5.0	8.0	20	32	32	65

(Courtesy: US DOE ITP Steam BestPractices End User Training Program)

#### 4.4.3.3. Beban Boiler (*Firing Rate*)

Kerugian karena radiasi dan konveksi akan meningkat pada beban boiler yang rendah, sedangkan pada beban boiler yang meningkat kerugian karena panas yang dibawa *flue gas* akan meningkat. Beban boiler yang berada dalam interval efisiensi

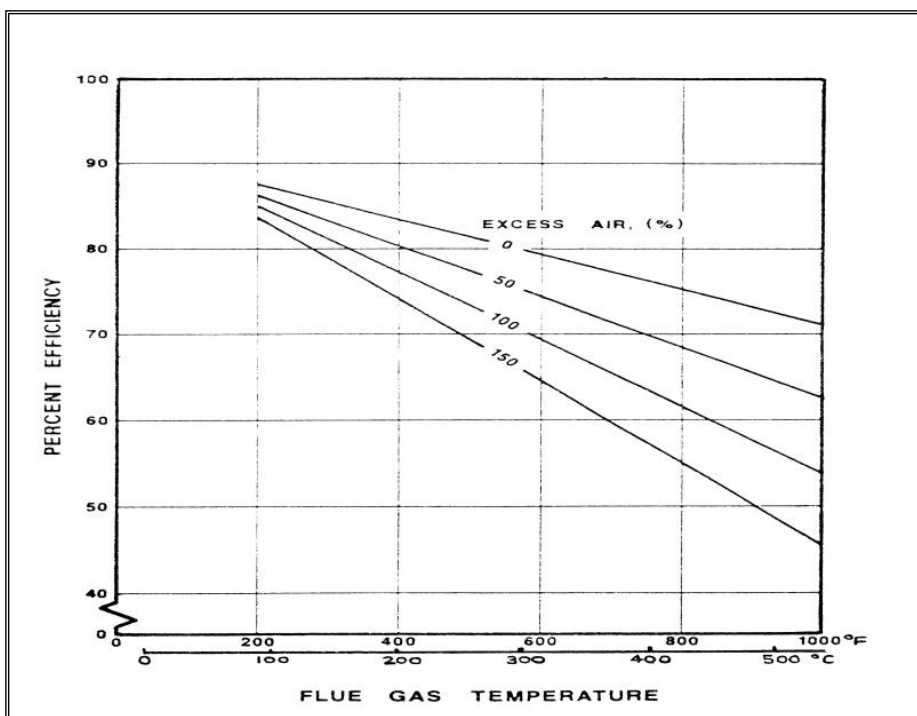
terbaik atau tertinggi adalah di antara 70 sampai dengan 90% dari beban maksimumnya.

#### 4.4.3.4. Temperatur Gas Buang (*Flue Gas*)

Tingginya temperatur gas buang (*flue gas*) mengisyaratkan tingginya panas yang dibawa gas buang. Apabila panas tersebut terbawa keluar cerobong oleh gas buang, jelas hal ini merupakan suatu kerugian. Jadi, satu cara untuk meningkatkan efisiensi boiler adalah dengan menurunkan temperatur gas buang serendah mungkin sampai pada batas yang diizinkan. Karena temperatur gas buang yang terlalu rendah akan mengakibatkan korosi pada cerobong.

Ada 2 hal yang diketahui menyebabkan tingginya temperatur gas buang, yaitu:

- Tidak cukupnya permukaan perpindahan panas;
- Buruknya permukaan perpindahan panas.



Gambar 4-22. Persentase efisiensi versus temperatur gas buang.

Permukaan perpindahan panas boiler dapat ditingkatkan dengan menginstalasi *air preheater* atau *economiser*. *Air preheater* digunakan untuk meningkatkan temperatur udara pembakaran dengan memanfaatkan panas gas buang.

*Economiser* digunakan untuk meningkatkan temperatur air pengisi boiler juga dengan menyerap panas dari gas buang.

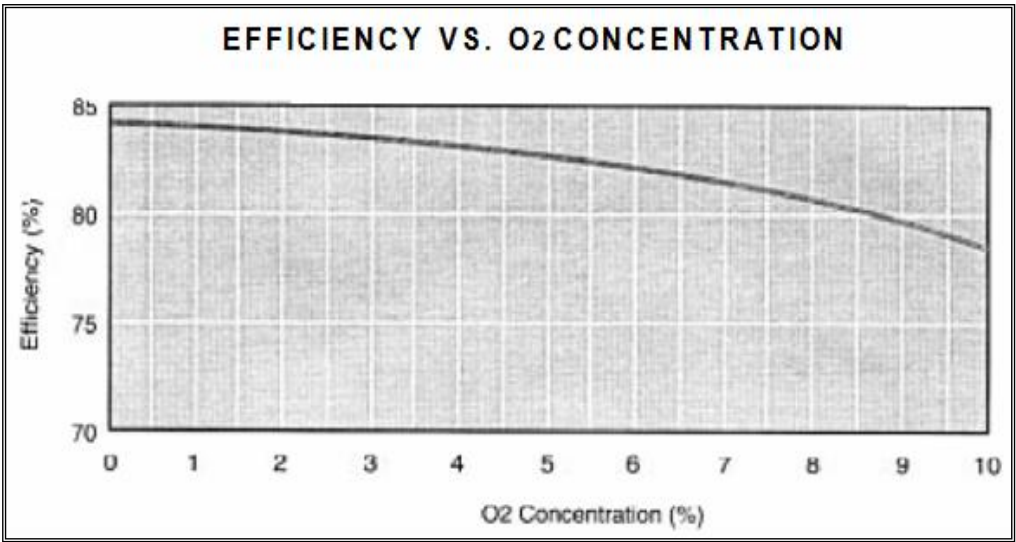
Untuk memperbaiki permukaan perpindahan panas dapat dilakukan dengan

pembersihan pipa-pipa air dari kotoran-kotoran yang mengendap (pada saat *overhaul*) atau pengolahan *feedwater* boiler yang baik pada unit pengolahan air (*water treatment plant*).

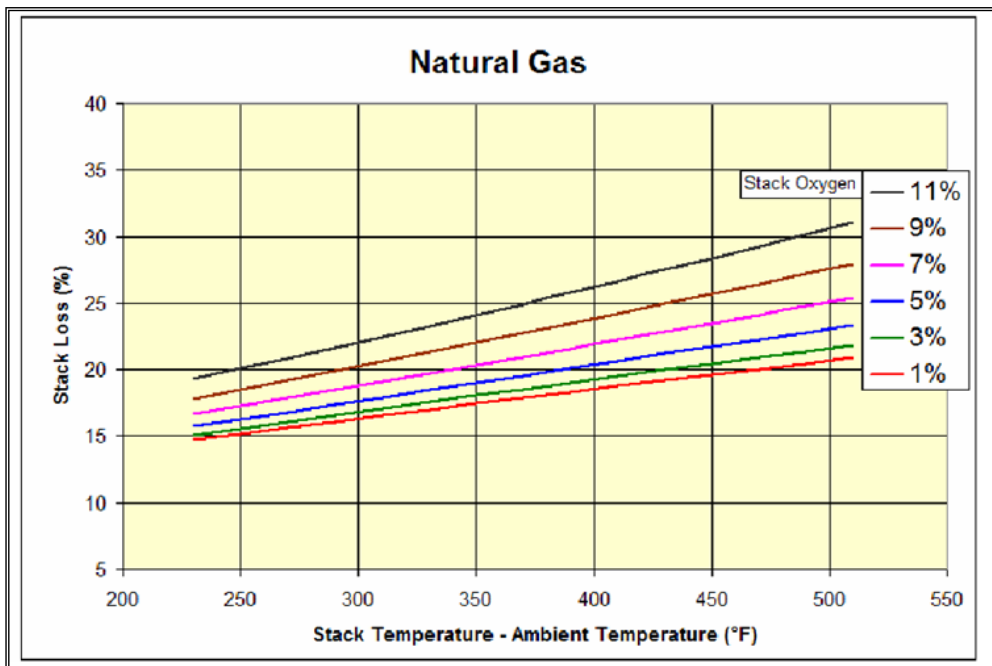
Tabel 4-11  
Rugi-rugi pada cerobong (*stack*) untuk setiap jenis bahan bakar

Bahan Bakar	%
Gas alam	18,5
Bahan bakar minyak no.2	14,1
Bahan bakar minyak no.6 (rendah sulfur)	13,7
Bahan bakar minyak no.6 (tinggi sulfur)	13,9
Batu bara tipikal timur (Bituminus)	12,2
Batu bara tipikal barat (Subituminus)	13,8
Kayu	24,9

(Sumber: Department of Energy's EERE Information Center at 1-877-EERE-INF)  
(1-877- 337-3463) or by sending an e-mail to eereic@ee.doe.gov).



Gambar 4-23. Persentase efisiensi versus konsentrasi Oksigen.

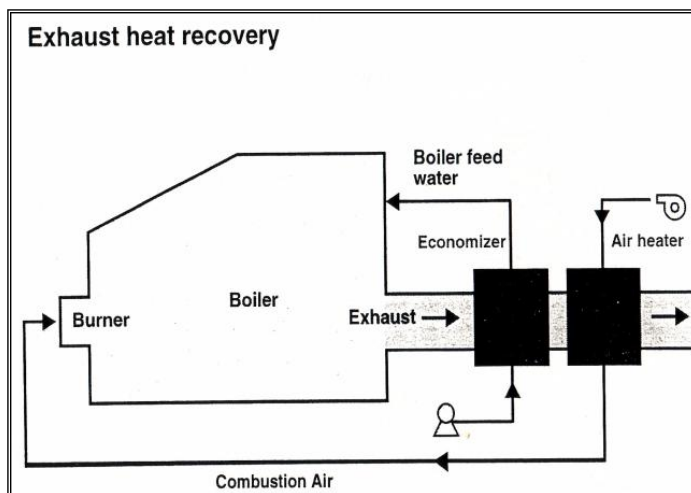


Gambar 4-24. Hubungan antara % Oksigen dan temperatur terhadap rugi-rugi gas buang pada bahan bakar gas alam.

(Sumber : Department of Energy's EERE Information Center at 1-877-EERE-INF (1-877-337-3463) or by sending an e-mail to eereic@ee.doe.gov).

## Pemanfaatan Panas Gas Buang

### A. Pemasangan Alat Penukar Kalor Pada Gas Buang



Gambar 4-25. Pemasangan alat penukar kalor pada gas buang.

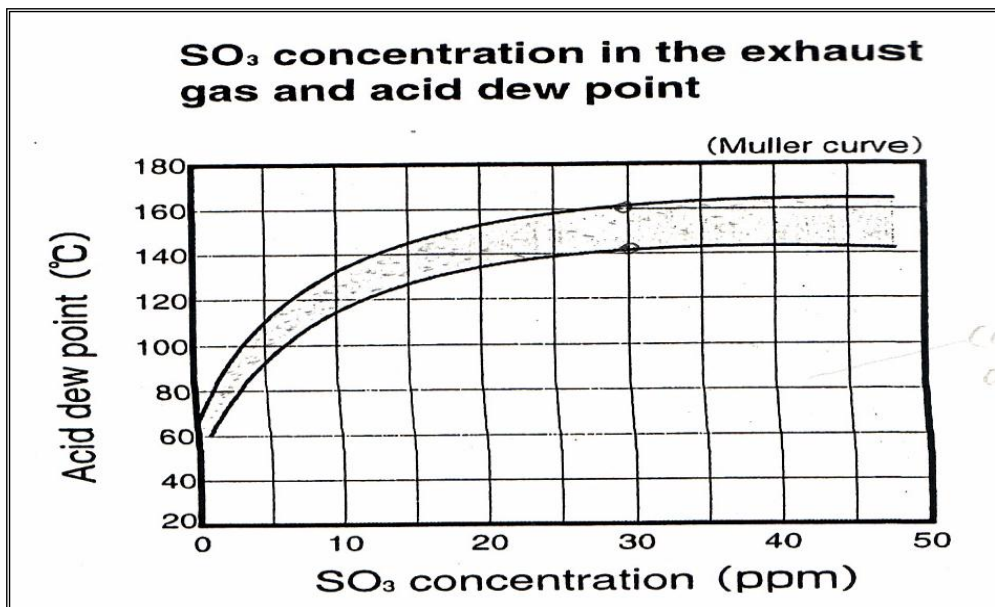
### B. Pemasangan Pemanas Awal Air Umpan *Economizer*

Perbedaan temperatur air umpan masuk dan keluar pada *economiser* = 7 °C dapat 1 % dari konservasi bahan bakar.

### C. Pemasangan Alat Pemanas Udara (*Air Heater*)

Perbedaan temperatur gas buang masuk dan keluar pada alat pemanas udara = 20 °C dapat meningkatkan 1% dari efisiensi boiler.

Penurunan temperatur gas buang dibatasi oleh kandungan sulfur pada bahan bakar. Biasanya di atas temperatur 180 °C, batas temperatur *dew point* terjadi kondensasi yang membuat korosi pada cerobong. Atau pada logam pemanas *economiser* dan *air preheater*. Batasan temperatur pada pemanfaatan energi panas gas buang dapat dilihat pada *Muller Curve*, Gambar 4-26.



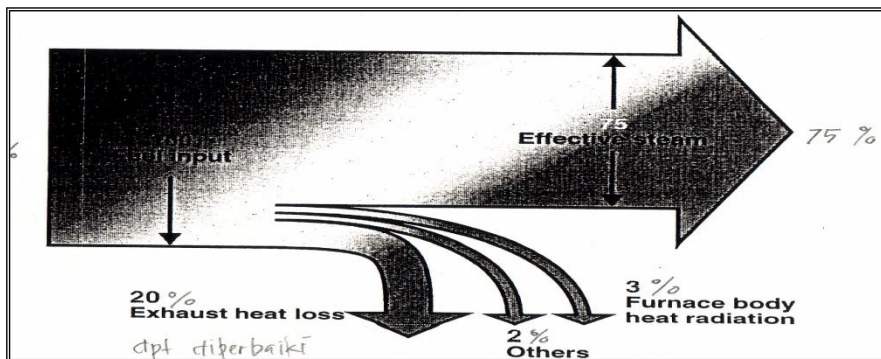
Gambar 4-26. Konsentrasi SO<sub>2</sub> dalam gas buang dan titik embun asam.  
(Sumber: Muller curve)

Tabel 4-12 menunjukkan rekomendasi temperatur maksimum gas buang pada cerobong.

Tabel 4-12  
Rekomendasi temperatur maksimum gas buang

Boiler Pressure	Recommended Maximum Stack Temperature
30 psig	375 °F
75 psig	420 °F
100 psig	440 °F
125 psig	455 °F

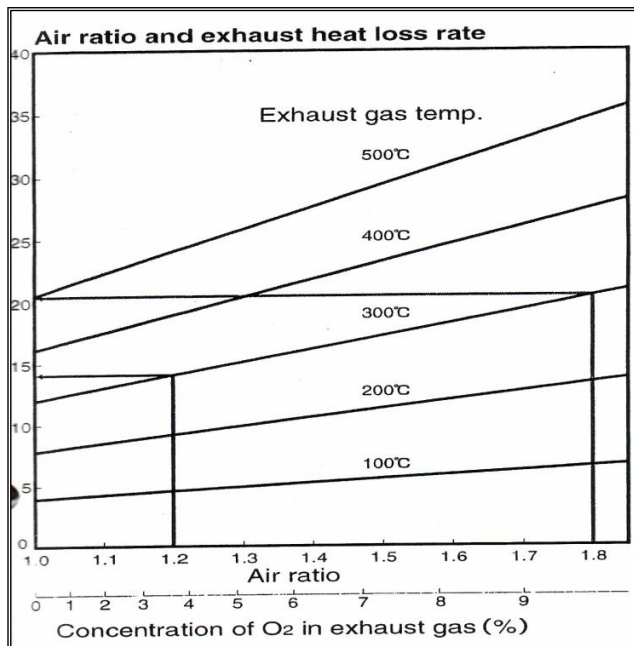
Keseimbangan panas sebelum konservasi energi.



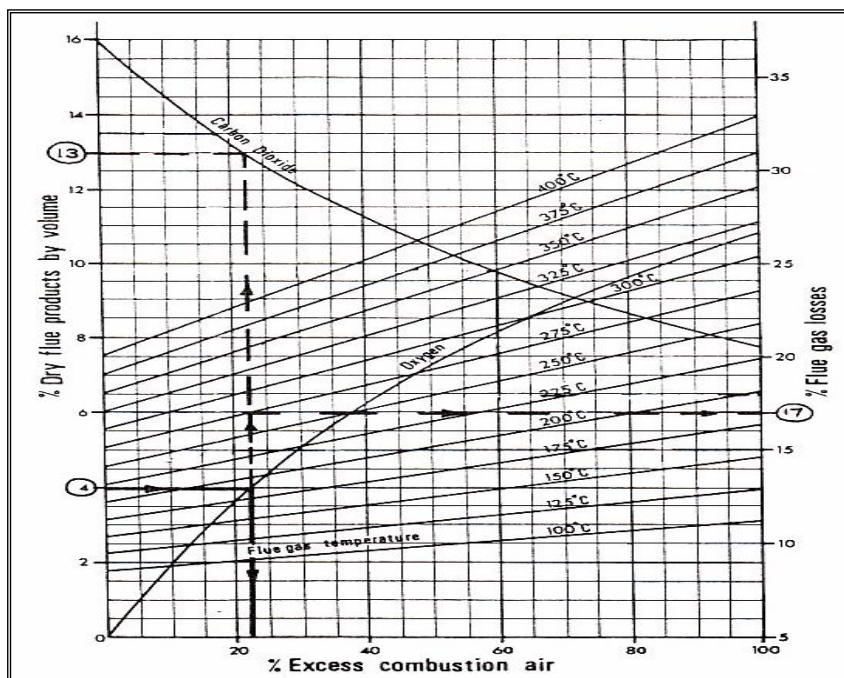
Gambar 4-27. Contoh keseimbangan panas pada boiler.

Perbandingan udara versus kehilangan panas pembuangan rata-rata bahan bakar gas.

Kerugian panas gas buang yang dipengaruhi oleh perbandingan udara bahan bakar ditampilkan pada Gambar 4-28. Semakin besar perbandingan tersebut dan temperatur gas buang semakin besar rugi-rugi panas buang.



Gambar 4-28. Perbandingan udara versus kehilangan panas pembuangan rata-rata bahan bakar gas.



Gambar 4-29. Perbandingan udara versus kehilangan panas pembuangan rata-rata bahan bakar minyak berat/residu.



## D. Penurunan Kehilangan Panas Buang

Tabel 4-13  
Kehilangan panas pada pembuangan, [%]  
*LSC heavy oil*

M	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	150 °C	600 °C
1,0	0,0	15,6	3,89	7,88	11,98	16,20	20,52	29,96
1,1	2,0	14,1	4,24	8,58	13,03	17,61	22,31	27,13
1,2	3,7	12,9	4,58	9,27	14,08	19,02	24,10	29,29
1,3	5,1	11,9	4,93	9,97	15,13	20,44	25,88	31,46
1,4	6,3	11,0	5,27	10,66	16,18	21,85	27,67	33,62
1,5	7,3	10,2	5,62	11,36	17,24	23,27	29,45	35,79
1,6	8,2	9,5	5,96	12,05	18,29	24,68	31,24	37,95
1,7	9,0	9,0	6,31	12,74	19,34	26,10	33,02	40,12
1,8	9,7	8,4	6,65	13,44	20,39	27,51	34,81	42,28
1,9	10,3	8,0	7,00	14,13	21,44	28,92	36,60	44,45
2,0	10,8	7,4	7,34	14,83	22,49	30,34	38,38	46,61

Tabel 4-14  
Kehilangan panas pada cerobong (bahan bakar gas alam)  
(Sumber: *Combustion Model Developed by Greg Harrell, Ph.D., P.E.*)

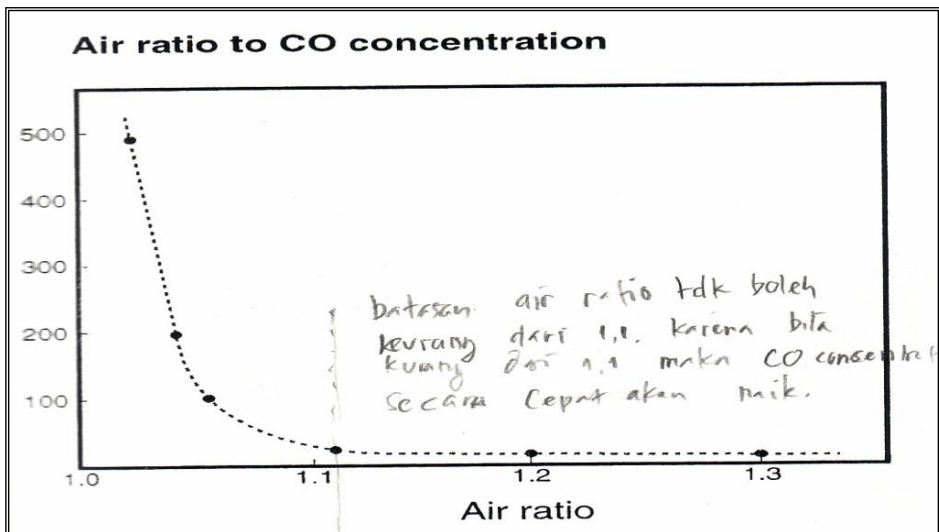
Stack Loss Table for			Typical Natural Gas												
Flue Gas Oxygen Content Wet Basis [%]	Flue Gas Oxygen Content Dry Basis [%]	Comb Conc [ppm]	Stack Loss [% of fuel Higher Heating Value input]												
			Net Stack Temperature [Δ °C]												
			{Difference between flue gas exhaust temperature and ambient temperature}												
			100	128	156	183	211	239	267	294	322	350	378	406	
1.0	1.2	0	13.6	14.7	15.8	16.9	18.0	19.1	20.2	21.3	22.4	23.6	24.7	25.9	
2.0	2.4	0	13.8	14.9	16.1	17.2	18.4	19.5	20.7	21.9	23.1	24.2	25.4	26.6	
3.0	3.6	0	14.0	15.2	16.4	17.6	18.8	20.0	21.3	22.5	23.7	25.0	26.3	27.5	
4.0	4.7	0	14.2	15.5	16.7	18.0	19.3	20.6	21.9	23.2	24.5	25.8	27.2	28.5	
5.0	5.8	0	14.5	15.8	17.2	18.5	19.9	21.2	22.6	24.0	25.4	26.8	28.2	29.6	
6.0	6.9	0	14.8	16.2	17.6	19.1	20.5	22.0	23.4	24.9	26.4	27.8	29.3	30.8	
7.0	8.0	0	15.1	16.6	18.1	19.7	21.2	22.8	24.3	25.9	27.5	29.1	30.7	32.3	
8.0	9.1	0	15.5	17.1	18.8	20.4	22.1	23.7	25.4	27.1	28.8	30.5	32.2	33.9	
9.0	10.1	0	16.0	17.7	19.5	21.2	23.0	24.8	26.6	28.5	30.3	32.1	34.0	35.8	
10.0	11.1	0	16.5	18.4	20.3	22.2	24.2	26.1	28.1	30.1	32.1	34.1	36.1	38.1	
Actual Exhaust T [°C]			121	149	177	204	232	260	288	316	343	371	399	427	
Ambient T [°C]			21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	

Perbandingan udara:

$$m = \frac{\text{Volume Nyata Pembakaran Udara, [m}^3\text{]}}{\text{Volume Udara Teoritis, [m}^3\text{]}}$$

Contoh :

Temperatur gas buang	300 °C
Perbandingan udara	1,8 - 1,2
Kehilangan panas gas buang	20 - 14%
Persentase konservasi bahan bakar	7,3%



Gambar 4-30. Perbandingan udara versus konsentrasi CO.

Tabel 4-15  
Persentase kinerja beberapa bahan bakar

Fuel	Efficiency Target	Excess Air	Oxygen (O2)	Carbon Dioxide (CO2)	Other
Natural Gas	80% - 83%	21% - 28%	4% - 5%	9.0% - 9.6%	400 ppm Carbon Monoxide (CO)
Oil	84% - 87%	22% - 29%	4% - 5%	11.9% - 12.6%	1 - 2 smoke test
Coal	83% - 84%	26% - 34%	4.5% - 5.5%	13.7% - 14.6%	
Wood	65% - 75%	61% - 74%	8% - 9%	11.7% - 12.6%	

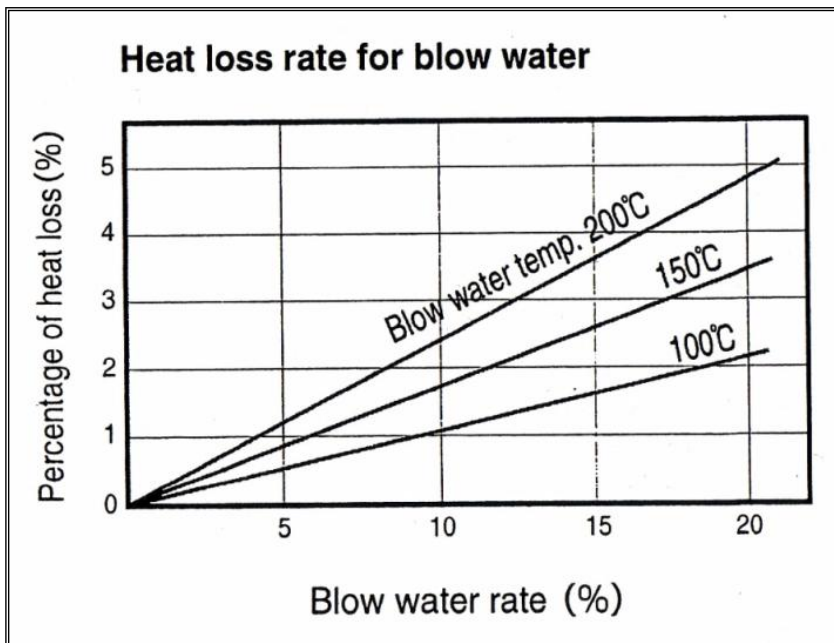
### Kehilangan Radiasi Panas pada Dinding Permukaan Boiler

Kerugian radiasi panas dipengaruhi oleh volume radiasi  $Q$  (kcal/m<sup>2</sup>h) dan radiasi dari dinding tungku.

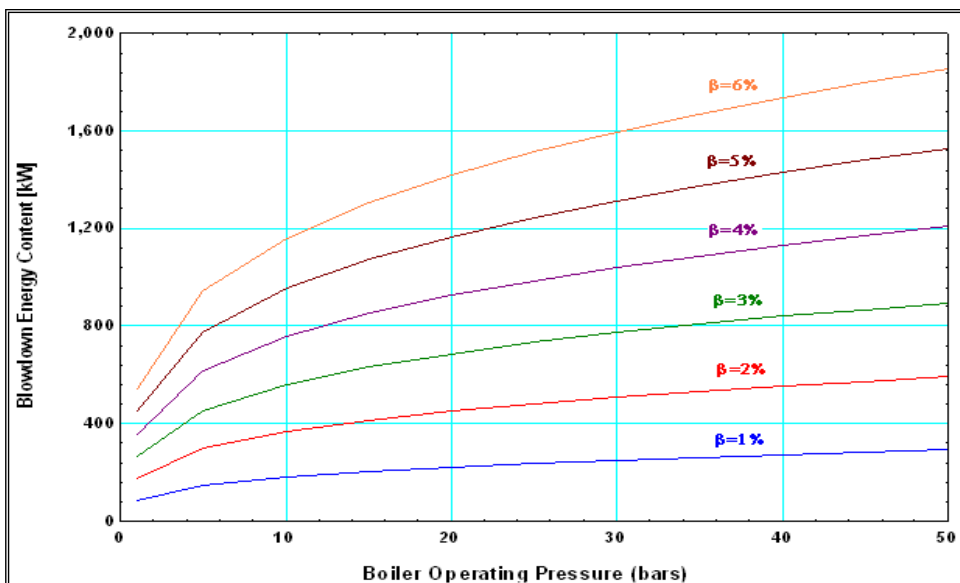
$$Q = 4,88 \epsilon \{ ((t + 273)/100)^4 - ((a + 273)/100)^4 \}$$

Keterangan:

- $\epsilon$  = Radiasi permukaan dinding tungku rata-rata
- $t$  = temperatur permukaan dinding tungku, [°C]
- $a$  = Temperatur udara di sekeliling tungku, [°C]



Gambar 4-31. Kehilangan panas pada air buangan (*blowdown*).



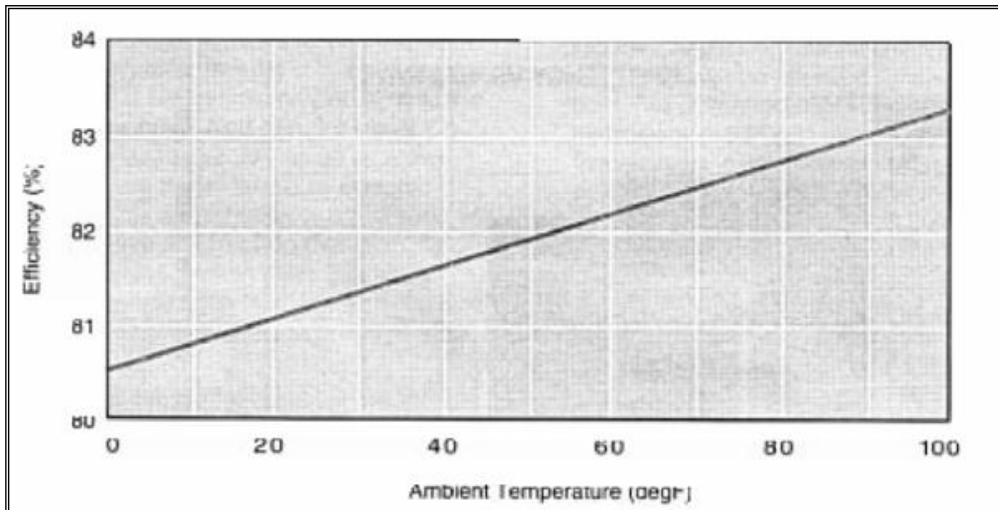
Gambar 4-32. Kandungan energi termal pada *blowdown* boiler.  
(Produksi uap 100 ton/jam dan air umpan 20 °C).

Di samping Lembar Kerja dan juga dibuatkan Form Data pengukuran yang diperlukan efisiensi boiler.

Tabel 4-16  
Lembar data pengukuran

				A/100%	B/75%	C/50%
	Waktu Pengukuran	Satuan		14' 20" 30	14' 59" 40	50
■	Faktor beban boiler	%				
■	Temperatur air umpan (masuk <i>economizer</i> )	°C				
■	Temperatur air umpan (keluar <i>economizer</i> )	°C				
■	<i>Specific gravity</i> Air					
■	Jumlah air umpan (baca dari <i>flow meter</i> )	liter (l)				
	Jumlah air umpan	l/jam				
	Jumlah air umpan	kg/jam	E			
	Entalpi air umpan	kJ/kg	iw			
■	Tekanan tangki uap	MPa				
	Entalpi uap	kJ/kg	l"			
■	Temperatur gas bahan bakar	°C	t			
	Tekanan gas bahan bakar	kPa	p			
■	Jumlah bahan bakar (baca dari <i>flow meter</i> )	m <sup>3</sup>				
	Jumlah bahan bakar	m <sup>3</sup> /jam	B			
	Jumlah bahan bakar	Nm <sup>3</sup> /jam	B			
	Nilai kalor terendah dari gas	kJ/Nm <sup>3</sup>	HI			
■	Temperatur gas buang (keluar dari boiler)	°C				
■	Temperatur gas buang (keluar <i>economizer</i> )	°C				
■	Konsentrasi oksigen pada gas buang	%	m			
	Faktor udara lebih	-				
■	Temperatur udara bagian luar (temperatur pipa masuk)	°C				
■	Temperatur <i>blowdown</i>	°C				
	<i>Specific gravity of blowdown</i>	--				
■	Jumlah <i>blow down</i> (baca <i>flow meter</i> )	l				
	Jumlah <i>blowdown</i>	l/jam				
	Jumlah <i>blowdown</i>	kg/jam	M			
	Entalpi <i>blowdown</i>	kJ/kg	im			
■	Efisiensi boiler	%	ηb			

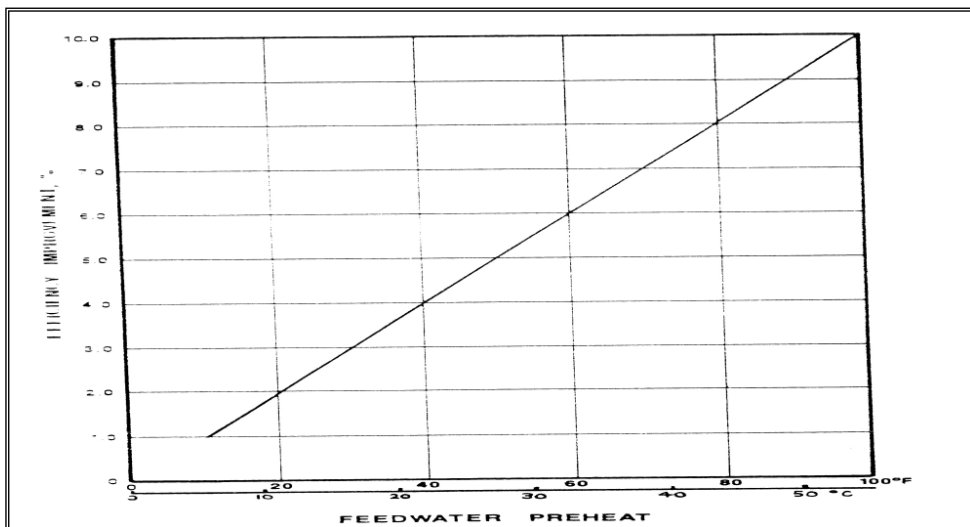
Catatan: ■ = Parameter yang diukur



Gambar 4-33. Fungsi efisiensi vs temperatur ambien.

#### 4.4.3.5. Temperatur Air Umpan Boiler

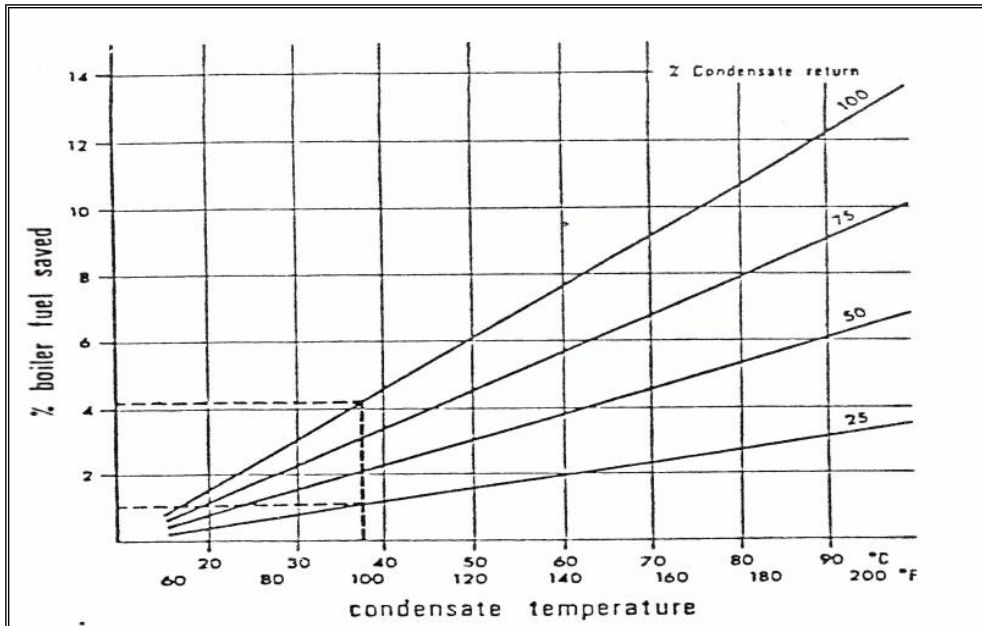
Efisiensi boiler dapat dinaikan dengan menaikkan temperatur air umpan dari *flue gas*. Karena dengan menaikkan temperatur air umpan berarti jumlah panas yang diserap oleh air umpan untuk membentuk uap jadi berkurang. Dengan demikian jelas menghemat pemakaian bahan bakar. Cara untuk menaikkan temperatur air umpan boiler adalah dengan menggunakan grafik hubungan peningkatan efisiensi boiler dengan kenaikan temperatur air umpan.



Gambar 4-34. Pengaruh pemanasan awal air umpan terhadap perbaikan efisiensi.

#### 4.4.3.6. Pemanfaatan Kondensat (*Condensate Recovery*)

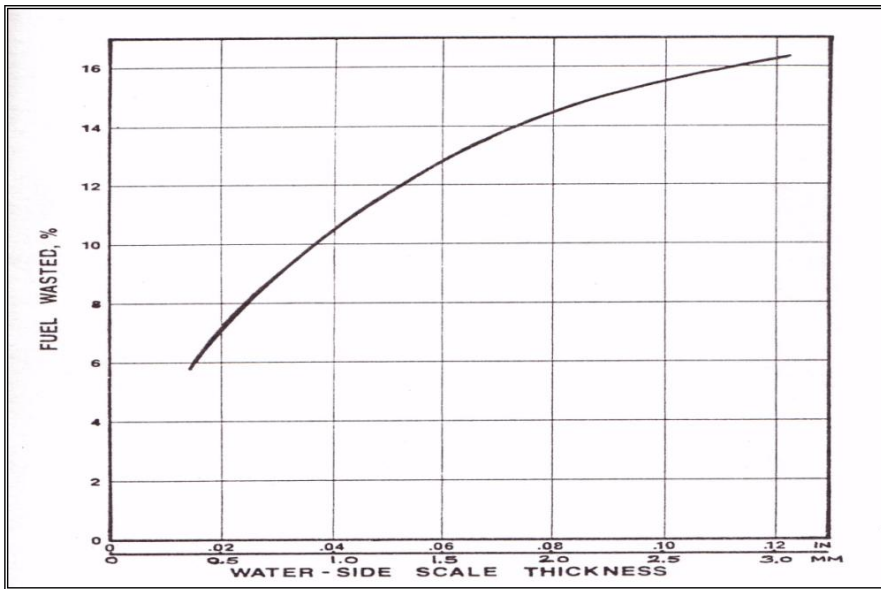
Energi panas yang dimiliki kondensat masih cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan. Apabila kondensat tidak atau belum terkontaminasi maka kondensat dapat digunakan langsung sebagai air umpan boiler. Penggunaan kondensat sebagai air umpan boiler adalah sangat menguntungkan karena berarti akan mengurangi beban kerja *water treatment plant* dan mendapatkan kembali panas yang terbawa oleh kondensat. Dengan demikian penggunaan kondensat dapat dikatakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan efisiensi boiler.



Gambar 4-35. Temperatur kondensat versus bahan bakar yang dihemat.

#### 4.4.3.7. Pengaruh Pengerakan Pada Pipa

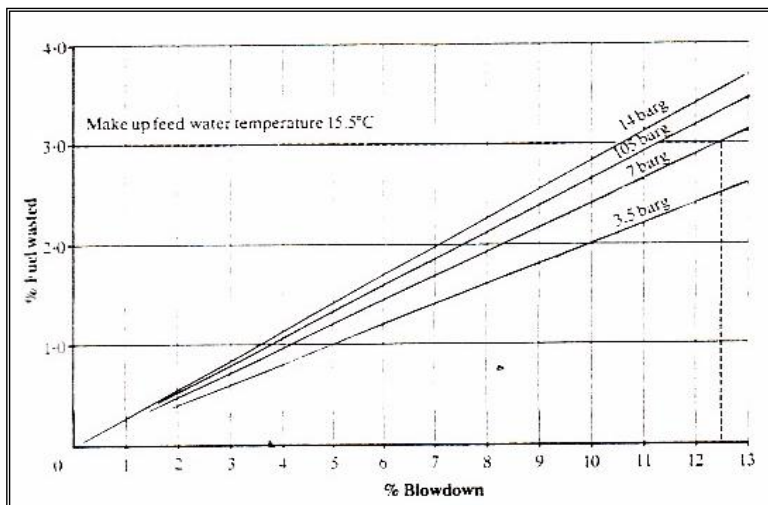
Pengerakan pipa yang dibiarkan akan menghambat perpindahan panas penukar kalor yang selanjutnya akan menimbulkan korosi dan kekuatan mekanisnya akan rapuh. Untuk menjaga kualitas air dilakukan pembuangan lumpur pada sisi *steam drum*.



Gambar 4-36. Tebal pengerakan versus rugi-rugi bahan bakar.

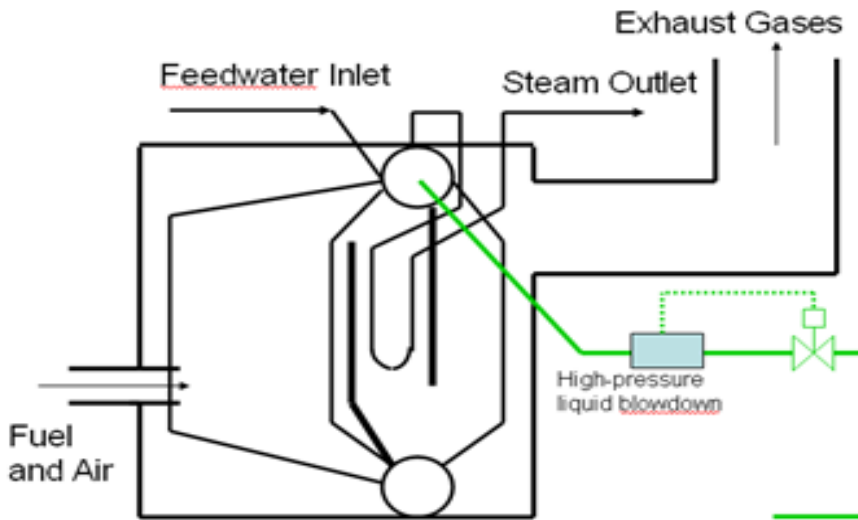
#### 4.4.3.8. Air Blowdown

*Blowdown water* bisa menjadi salah satu faktor yang besar pengaruhnya terhadap efisiensi boiler. Panas yang terbawa keluar oleh air *blowdown* merupakan suatu kerugian. Panas tersebut bisa diambil kembali, misalnya dengan menginstalasi *heat exchanger* untuk meningkatkan temperatur air umpan boiler. Salah satu cara lain untuk mencegah *blowdown* yang berlebihan adalah dengan pengolahan air umpan boiler yang baik di *water treatment plant*.



Gambar 4-37. Persentase bahan bakar yang dihemat versus persentase *blowdown*.

## Pemasangan *Automatic Boiler Blowdown Controller*



Gambar 4-38. *Automatic Boiler Blowdown Controller*.  
(Courtesy: US DOE ITP Steam BestPractices End User Training Program).

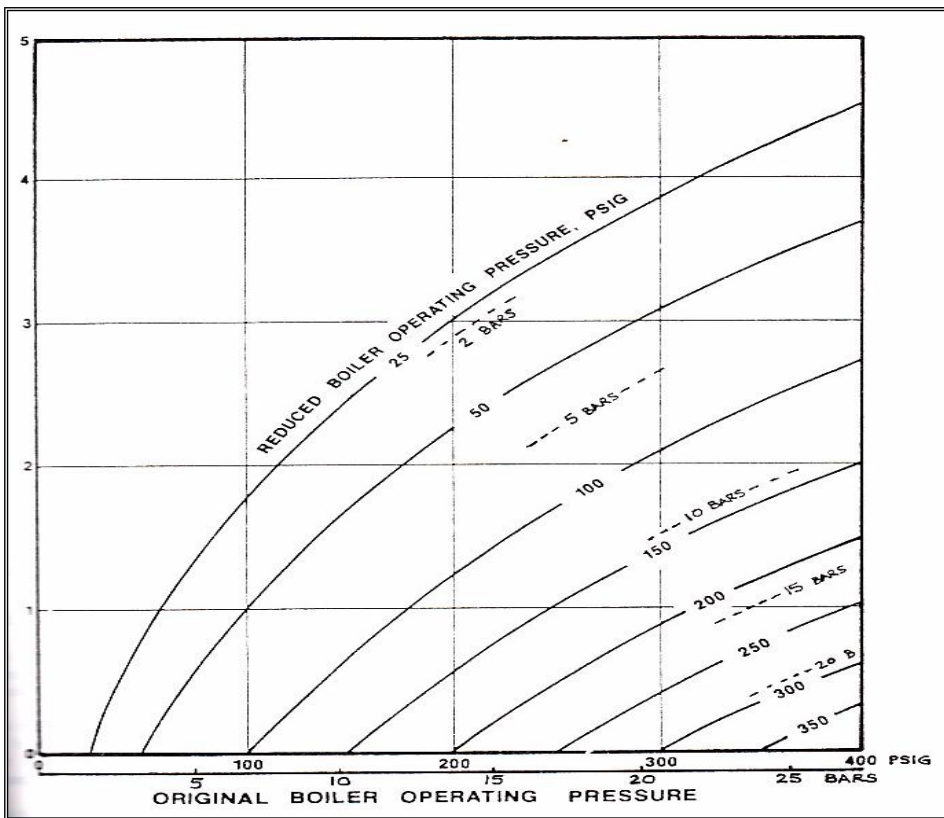
### 4.4.3.9. Kehilangan Panas Pada Bagian Luar Boiler

Kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi adalah salah satu bentuk dari *exterior heat losses boiler*. Pada boiler modern kerugian tersebut dapat ditekan sampai kurang dari 1% dengan desain dan isolasi yang baik. Salah satu cara untuk menurunkan kerugian adalah dengan mengoperasikan boiler di atas beban terendahnya.

### 4.4.3.10. Tekanan Uap

Keuntungan penurunan tekanan kerja operasi boiler akan menurunkan kerugian panas akibat radiasi pada boiler, memperkecil kerugian pada *flanges* dan *packing gland*, menurunkan konsumsi energi pompa air umpan boiler, dan memperkecil kehilangan energi pada terminal penurunan tekanan. Akan tetapi besarnya penurunan tekanan kerja operasi dibatasi oleh kebutuhan uap, pipa distribusi uap, atau batas-batas desain boiler.





Gambar 4-39. Persentase perbaikan efisiensi versus tekanan boiler.

Tabel 4-17  
TDS maksimum untuk berbagai tekanan

Tekanan Uap keluar Boiler		Total Zat Padat	Total Kesadahan	Zat Padat Terlarut
psig	bar	ppm	ppm	ppm
0-300	0-20	3500	700	300
301-450	21-30	3000	600	250
451-600	31-40	2500	500	150
601-750	41-50	2000	400	100
751-900	51-60	1500	300	60
901-1000	61-67	1250	250	40
1001-1500	68-100	1000	200	20
1501-2000	101-133	750	150	10
2001 dan Lebih	134 dan Lebih	500	100	5

Tabel 4-18  
Rekomendasi level TDS untuk beberapa jenis boiler

Tipe Boiler	TDS Maksimum, [ppm]
<i>Lancashire</i>	10.000 ppm
<i>Smoke and Water Tube Boilers (12 kg/cm<sup>2</sup>)</i>	5.000 ppm
<i>Low Pressure Water Tube Boiler</i>	2.000-3.000
<i>High Pressure Water Tube Boiler with Superheater etc.</i>	3.000 - 3.500 ppm
<i>Package and Economic Boilers</i>	3.000 ppm
<i>Coil Boilers and Steam Generators</i>	2.000 (pada air umpan)

Tabel 4-19  
Rekomendasi TDS air umpan

Faktor	Lebih dari 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40 - 59 kg/cm <sup>2</sup>
Besi (total) (maks), ppm	0,05	0,02	0,01
Tembaga (total) (maks), ppm	0,01	0,01	0,01
Silika (total) (maks), ppm	1,0	0,3	0,1
Oksigen (maks), ppm	0,02	0,02	0,01
<i>Hydrazine residual</i> , ppm	-	-	-0,02-0,04
pH pada 25 °C	8,8-9,2	8,8-9,2	8,2-9,2
Kesadahan, ppm	1,0	0,5	-

Tabel 4-20  
Rekomendasi batas air boiler. (IS 10392, Tahun 1982)

Faktor	Lebih dari 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40 - 59 kg/cm <sup>2</sup>
TDS, ppm	3000-3500	1500-2500	500-1500
<i>Total iron dissolved solids ppm</i>	500	200	150
<i>Specific electrical conductivity at 25°C (mho)</i>	1000	400	300
<i>Phosphate residual ppm</i>	20-40	20-40	15-25
<i>pH at 25°C</i>	10-10,5	10-10,5	9,8-10,2
<i>Silica (max) ppm</i>	25	15	10

#### 4.4.3.11. Pengaruh Bahan Bakar

Komposisi yang berbeda pada bahan bakar mempunyai pengaruh terhadap efisiensi boiler. Pengaruh tersebut ditentukan oleh kandungan hidrogen dalam bahan bakar yang akan menyebabkan perbedaan *moisture content* dalam *flue gas*, perbedaan jumlah panas yang dilepas pada pembakaran bahan bakar, dan *dissimilar slagging*, *sooting*, serta karakteristik *fouling*.

Tabel 4-21  
Jenis bahan bakar terhadap efisiensi

Bahan Bakar	Nilai Kalori	MJ/kg	Efisiensi, [%]		
	<i>gross</i>	<i>net</i>	<i>gross</i>	<i>net</i>	%
Minyak	42,4	40,0	85	90	5
Batubara	28,6	27,3	81	85	4
Kayu	13,6	11,9	74	85	11
Gas Alam	43,1	39,0	81	90	9

Tabel 4-22  
Komposisi gas buang yang disarankan

Kehilangan ( <i>Net Heat Value</i> )			
	Satuan	Baik	Tidak Baik
Gas Buang	%	9,8	15,2
Kandungan Air dalam Gas	%	0,7	1,0
CO	%	0,05	2,5
<i>Soot</i>	%	0,7	1,7
<i>Slag</i>	%	2,5	2,5
Total Kehilangan	%	14,8	24,9

## 4.5. PENYUSUNAN LAPORAN

Kegiatan audit energi pada sistem boiler diakhiri dengan penyusunan laporan. Selanjutnya, laporan ini biasanya dipresentasikan di hadapan pemilik atau pengelola industri/pabrik. Presentasi ini penting untuk dilakukan guna memaparkan secara langsung hasil analisis, kesimpulan, dan rekomendasi yang diberikan dalam rangka peningkatan kinerja boiler.

Penyusunan laporan audit energi pada sistem boiler bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem boiler merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem boiler yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, diesel generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem boilernya saja yang diaudit.

### 4.5.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem boiler merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 4-40. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 4-41.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 4-40) adalah urutan bab pada sistem boiler. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem boiler berada pada urutan ke-4, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 4 atau IV. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 4 atau Bab IV Sistem Boiler.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan - sesuai dengan Gambar 4-40 - meliputi:

1. Deskripsi Sistem Boiler

Di sini diuraikan hal-hal mengenai sistem boiler di pabrik tersebut, misalnya: a) jumlah dan spesifikasi masing-masing boiler, b) status terkini: konsumsi bahan bakar, produksi uap dan konsumsi untuk pabrik, c) perawatan dan perbaikan, dan d) status peralatan ukur atau sistem instrumentasi yang terpasang;

2. Lingkup Audit Energi pada Sistem Boiler

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

3. Peralatan Audit Energi

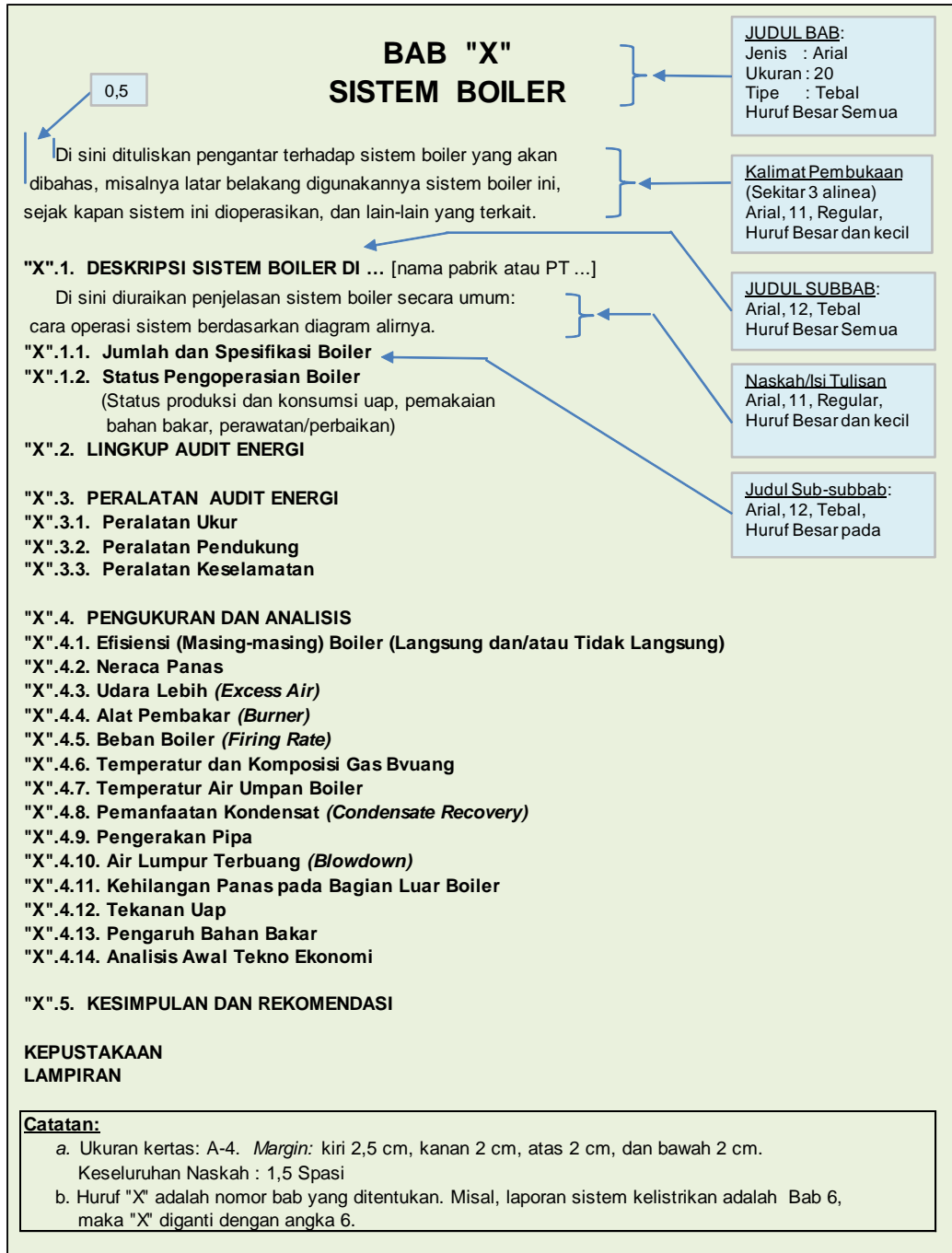
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan (ukur, pendukung, dan K-3) yang digunakan oleh auditor untuk pengumpulan data primer;

4. Pengukuran dan Analisis

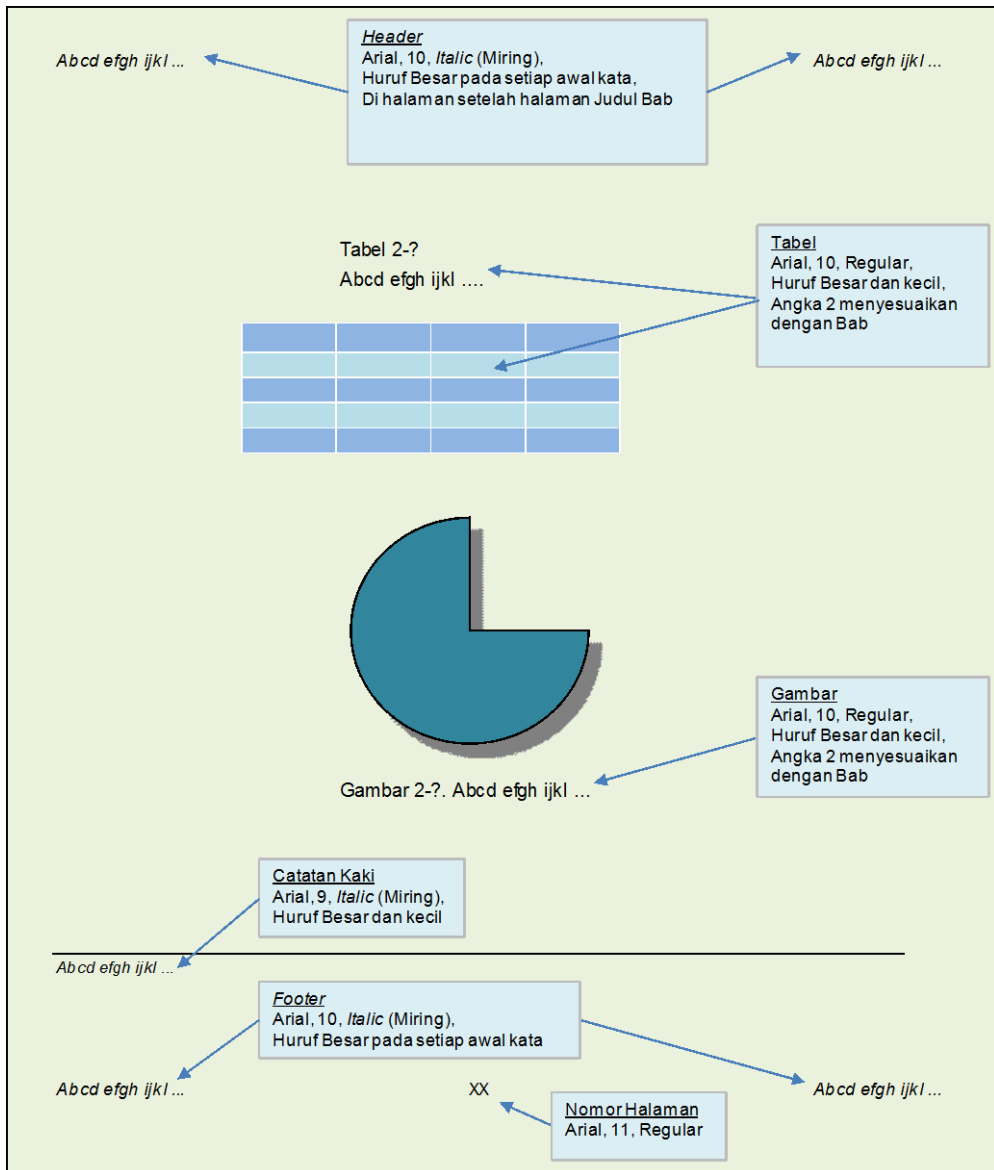
Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran.

## 5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 4-40. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem boiler yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.



Gambar 4-41. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

#### 4.5.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Boiler

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem boilernya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan “tunggal”, yang hanya mengulas ikhwal sistem boiler, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, analisis, hingga

kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 4-42.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b> <b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>BAB 1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	
1.1	Identitas Perusahaan	
1.2	Status Penyediaan dan Konsumsi Energi	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.3	.....	
<b>BAB 2</b>	<b>DESKRIPSI SISTEM BOILER</b>	
2.1	Peralatan Sistem Boiler	
2.2	Status Sistem Boiler (Status produksi dan konsumsi uap, pemakaian bahan bakar, perawatan/perbaikan)	
<b>BAB 3</b>	<b>LINGKUP AUDIT ENERGI SISTEM BOILER</b>	
<b>BAB 4</b>	<b>PERALATAN AUDIT ENERGI</b>	
4.1	Peralatan Ukur	
4.2	Peralatan Pendukung	
4.3	Peralatan K-3	
<b>BAB 5</b>	<b>PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>	
5.1	Efisiensi (Masing-masing) Boiler (Langsung dan/atau Tidak Langsung)	
5.2	Neraca Panas	
5.3	Udara Lebih (Excess Air)	
5.4	Alat Pembakar (Burner)	
5.5	Beban Boiler (Firing Rate)	
5.6	Temperatur dan Komposisi Gas Buang	
5.7	Temperatur Air Umpan Boiler	
5.8	Pemanfaatan Kondensat (Condensate Recovery)	
5.9	Pengerakan Pipa	
5.10	Air Lumpur Terbuang (Blowdown)	
5.11	Kehilangan Panas pada Bagian Luar Boiler	
5.12	Tekanan Uap	
5.13	Pengaruh Bahan Bakar	
5.14	Analisis Awal Tekno Ekonomi	
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>	
6.1	Kesimpulan	
6.2	Rekomendasi	
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>Catatan:</b> a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin:</i> kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular. c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.		

Gambar 4-42. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem boiler di industri.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

- a. Kata Pengantar  
Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.
- b. Ringkasan Eksekutif  
Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.
- c. Pendahuluan  
Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.
- d. Deskripsi Sistem Boiler  
Uraianya dapat melihat butir 1 pada Subbab 4.5.1.
- e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Boiler  
Uraianya dapat melihat butir 2 pada Subbab 4.5.1.
- f. Peralatan Audit Energi  
Uraianya dapat melihat butir 3 pada Subbab 4.5.1.
- g. Pengukuran dan Analisis  
Uraianya dapat melihat butir 4 pada Subbab 4.5.1.
- h. Kesimpulan dan Rekomendasi  
Uraianya dapat melihat butir 5 pada Subbab 4.5.1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Bureau of Energy Efficiency. 2002.*
- [2] Combustion model developed by Greg Harrell, Ph.D., P.E.
- [3] Department of Energy's EERE Information Center at 1-877-EERE-INF (1-877- 337-3463) or by sending an e-mail to [eereic@ee.doe.gov](mailto:eereic@ee.doe.gov).
- [4] Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition, 2007
- [5] Sumber Murni, *Buku Ajar Ketel Uap*, 2012.



## LAMPIRAN KHUSUS

### Contoh Kasus Audit Energi pada Sistem Boiler

Boiler adalah bejana tertutup yang mengalirkan panas pembakaran ke air hingga terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada boiler adalah *burner*, ruang bakar, penukar panas, dan sistem kontrol.

Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan dipindahkan ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi.

Berdasarkan informasi didapatkan bahwa penggunaan boiler pada sektor industri untuk menghasilkan uap di Amerika Serikat sekitar 34 persen. Hal ini berarti bahwa peningkatan efisiensi pada boiler sangat penting.

Dalam proses produksi dari air menjadi uap, dapat terjadi kehilangan panas atau rugi-rugi seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang di cerobong. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu. Kehilangan dari *blowdown* dan kondensat. Kehilangan konveksi, radiasi, dan penguapan air yang terbentuk karena hidrogen di dalam bahan bakar.

Untuk mengoptimalkan pengoperasian boiler, maka sangat penting untuk melakukan identifikasi sumber-sumber pemborosan atau kehilangan tersebut. Kehilangan yang banyak ditemukan pada proses produksi uap adalah gas buang yang bisa mencapai 10 - 30% dari total rugi-rugi, yang temperaturnya berkisar 150 - 250 °C. Oleh karena itu pemanfaatan gas buang ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi boiler. Dengan demikian didapatkan penghematan energi. Salah satu cara untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

Untuk menyuplai kebutuhan uap pada peralatan mesin produksi, maka dilengkapi dengan 2 unit boiler, masing-masing berkapasitas 10 dan 5 ton/jam. Kedua boiler ini mempunyai tipe yang sama, yaitu *3 pass flue & smoke tube type* pada tekanan *gauge* 0,8 MPa (kerja) dan desain *gauge* 0,8 MPa.

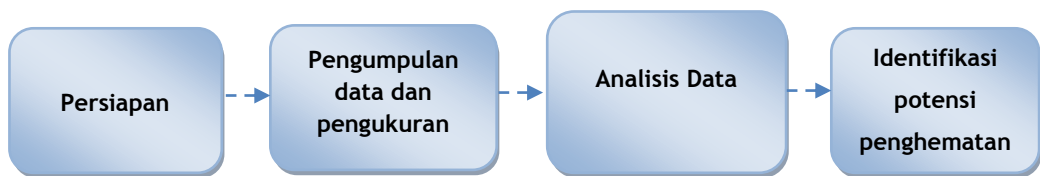
Sistem boiler terdiri atas sistem-sistem air umpan, uap, dan bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan.

Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap di dalam boiler. Uap dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan.

Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Bahan bakar boiler ini adalah gas.

Berdasarkan informasi bahwa boiler ini boros menggunakan gas untuk memproduksi uap, sehingga diperlukan audit energi. Pabrik ini merupakan pabrik tekstil yang memproduksi bahan jadi berupa kain katun. Dalam proses produksinya membutuhkan uap. Kebutuhan uap terdistribusi ke beberapa mesin, yaitu mesin produksi *dying* 1, mesin *dying* 2, *dryer* 1, dan *dryer* 2. Pabrik ini beroperasi pada jam 08.00- 22.00.

Untuk menentukan kinerja boiler maka diperlukan beberapa kegiatan seperti persiapan, penentuan parameter, titik ukur, dan pelaksanaan pengukuran. Kemudian evaluasi data hasil pengukuran dan analisis data serta identifikasi potensi penghematan energi. Alur Audit energi pada boiler dapat dilihat pada Gambar Lk-4-1.



Gambar Lk-4-1. Alur tahapan pelaksanaan audit energi.

## Parameter Pengukuran

Parameter-parameter pengukuran yang diperlukan dari suatu boiler tergantung pada batas yang ditetapkan, peralatan ukur yang tersedia, dan kondisi pengukuran. Akan tetapi secara umum data-data yang diperlukan di dalam melakukan pengukuran pada boiler adalah:

- a. Bahan bakar : laju air ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), tekanan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- b. Gas buang : Laju air ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), komposisi gas buang ( $\%\text{CO}_2$ ,  $\%\text{CO}$ ,  $\%\text{O}_2$ ,  $\%\text{SO}_2$ )
- c. Air pengisi boiler : laju air ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), jumlah bahan padat yang terlarut (TDS), tekanan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- d. Udara pembakaran : temperatur ambien ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatur bola basah ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatur bola kering ( $^{\circ}\text{C}$ )
- e. Air *blowdown* : laju air ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), jumlah bahan padat yang terlarut (TSD), temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- f. Dinding boiler : temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), luas permukaan ( $\text{m}^2$ )
- g. Uap : laju air ( $\text{m}^3/\text{h}$ , temperatur( $^{\circ}\text{C}$ ), tekanan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

## Perlengkapan Pengukuran

Perlengkapan pengukuran atau instrumen pengukuran yang diperlukan di antaranya adalah:

- a. Pengukuran temperatur: termokopel serta termometer bola basah dan bola kering;
- b. Pengukuran laju air: *pitot tube*, *fan wheel*, *orifice*, *ultrasonic flowmeter*;
- c. Pengukuran tekanan: manometer;
- d. Pengukuran komposisi gas buang: *gas analyser*;
- e. Pengukuran jumlah bahan padat yang terlarut: *TDS meter*.

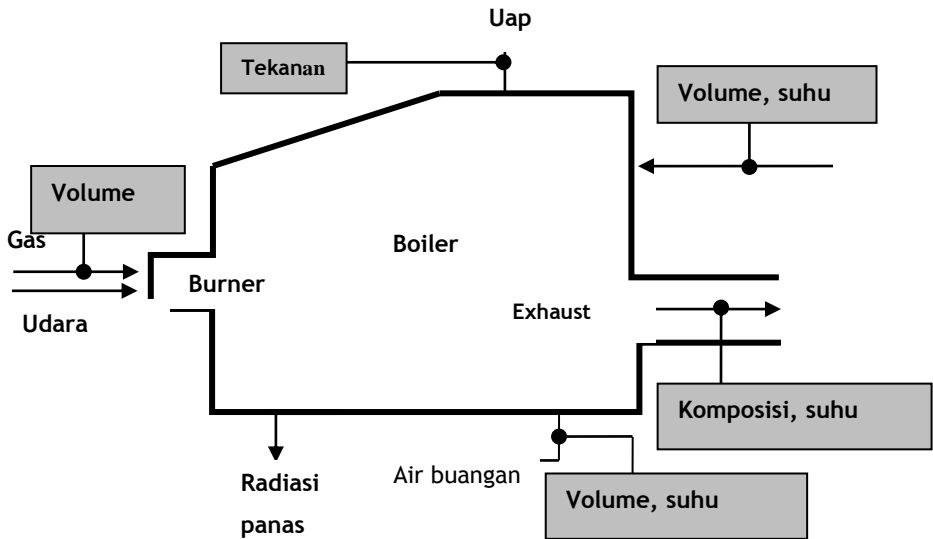
## Menentukan Titik Pengukuran

Langkah yang perlu diperhatikan dalam melakukan persiapan pengukuran adalah:

- a. Menentukan batas sistem boiler yang akan diukur, yaitu dengan menyusun atau menggambarkan diagram sistem tersebut;
- b. Menentukan titik-titik pengukuran dari diagram sistem boiler, seperti diperlihatkan pada Gambar-Lk-4-2.
- c. Instalasi instrumen-instrumen pengukuran. Instalasi dilakukan pada saat boiler tidak/sedang beroperasi. Pembacaan dan pengambilan data dapat pula dilakukan dari alat ukur yang telah terpasang, dengan memastikan bahwa alat ukur tersebut tidak rusak dan masih dapat dipercaya pembacaan meternya;
- d. Pengukuran dilakukan dalam kondisi tunak (*steady*), yaitu suatu kondisi pada saat beban pembakaran boiler tidak berubah terhadap waktu untuk setiap masing-masing beban boiler yang diukur;
- e. Pengambilan data dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data yang dapat mewakili operasi boiler.

## Evaluasi Data Hasil Pengukuran dan Analisis

Data hasil pengukuran yang masih merupakan data mentah sehingga perlu diolah untuk dapat digunakan dalam perhitungan atau analisis. Untuk itu satuan-satuan yang digunakan perlu distandarkan. Biasanya dipakai satuan-satuan standar internasional (SI). Analisis data bersisi perhitungan-perhitungan untuk mengetahui kinerja boiler.



Gambar Lk-4-2. Titik pengukuran pada boiler

Dalam melakukan perhitungan digunakan beberapa data komposisi dan nilai kalor bahan bakar. Perhitungan di sini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi energi di boiler, kebutuhan udara pembakaran, faktor kelebihan udara, dan efisiensi boiler. Efisiensi boiler didefinisikan persentase jumlah masukan panas efektif yang digunakan untuk menghasilkan uap.

Ada dua metode yang biasa digunakan untuk menentukan efisiensi boiler, yaitu metode langsung (*input & output heat method*) dan metode tidak langsung (*heat loss method*).

#### a. Metode Langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan kandungan energi dari bahan bakar boiler. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Efisiensi boiler, } \eta(\%) = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta(\%) = \frac{\text{jumlah uap panas yang dibangkitkan, } Q_s \text{ (kkal)}}{\text{Jumlah panas hasil pembakaran bahan bakar, } Q_f \text{ (kkal)}} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

$$\eta(\%) = \frac{W(h_s - h_w)}{F \times H_f} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$W$  = jumlah uap yang dibangkitkan, [kg]

$h_s$  = Entalpi uap, [kcal/kg]

$h_w$  = Entalpi air yang diumpankan, [kcal/kg]

$H_l$  = Nilai kalori bahan bakar, [kcal/liter atau kcal/kg]

## b. Metode Tidak Langsung

Efisiensi boiler dihitung berdasarkan pengurangan jumlah uap panas yang dihasilkan dengan rugi rugi panas yang terjadi. Metode perhitungan efisiensi tidak langsung pada boiler menggunakan *British Standard*, BS 845: 1987 dan ASME PTC-4.1.

Metode tidak langsung juga disebut metode kehilangan panas. Efisiensi boiler dapat dihitung dengan cara jumlah uap panas yang dihasilkan dikurangi dengan rugi rugi panas yang terjadi.

$$\text{Efisiensi, } \eta(\%) = 100 - (\text{Rugi - rugi panas total, Thl}) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Efisiensi } \eta(\%) = 100 - (L_{dfg} + LH_2 + Lmf + Lma + Lfa + Lba + L_Q) \dots\dots (5)$$

Kehilangan energi dapat dibagi ke dalam kehilangan yang tidak dan dapat dihindarkan. Audit energi merupakan salah satu cara untuk mengidentifikasi kehilangan yang dapat dihindari untuk meningkatkan efisiensi energi. Beberapa rugi-rugi pada boiler yang biasa terjadi dapat dihindari atau dikurangi.

### 1. Kehilangan gas buang pada cerobong:

- Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai optimum yang tergantung dari teknologi *burner*, kontrol operasi, dan pemeliharaan);
- Temperatur gas buang di cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan/pembersihan dan beban, burner yang lebih baik, serta teknologi boiler);

### 2. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan, teknologi *burner* yang lebih baik);

### 3. Kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat);

### 4. Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat);

### 5. Kehilangan panas karena konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik);

### 6. Penguapan air yang terbentuk karena hidrogen di dalam bahan bakar.

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air di dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan dari desainnya.

Data-data yang dibutuhkan untuk menghitung efisiensi boiler metode tidak langsung adalah:

1. Analisis *ultimate* bahan bakar (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, S, C, kadar air, kadar abu), [%]
2. Persentase oksigen atau CO<sub>2</sub> di dalam gas buang, [%]
3. Temperatur gas buang (T<sub>f</sub>), [°C]
4. Temperatur ambien (T<sub>a</sub>), [°C]
5. Kelembaban udara, [kg/kg udara kering]
6. GCV bahan bakar, [kcal/kg]
7. Persentase bahan yang dapat terbakar di dalam abu (untuk bahan bakar padat), [%]
8. GCV abu (untuk bahan bakar padat), [kcal/kg]

Prosedur rinci untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung disajikan berikut ini.

Tahap 1: Menghitung kebutuhan udara teoritis (TA/*theoretical combustion air*)

$$TA = [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2 / 8)\} + (4,32 \times S)] / 100 \text{ kg/kg bahan bakar...} \tag{6}$$

Tahap 2 : Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA/*excess air*)

$$EA = \frac{O_2 \%}{21 - O_2 \%} \tag{7}$$

Tahap 3: Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \{1 + EA/100\} \times TA \tag{8}$$

Tahap 4: Memperkirakan seluruh kehilangan panas (THL/*total heat loss*)

- Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oeh gas buang yang kering, *heat loss due to dry flue gas (Ldfg)*

$$Ldfg (\%) = \frac{m \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \tag{9}$$

Keterangan:

m = massa gas buang kering, [kg/kg bahan bakar]

= (massa hasil pembakaran kering/kg bahan bakar) + (massa N<sub>2</sub> dalam bahan bakar pada basis 1 kg) + (massa N<sub>2</sub> dalam massa udara pasokan yang sebenarnya)

C<sub>p</sub> = Panas jenis gas buang (= 0,23 kcal/kg)

- Persen kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H<sub>2</sub> di dalam bahan bakar, *heat loss due to evaporation of water formed due to H<sub>2</sub> in fuel (LH<sub>2</sub>)*

$$LH_2 (\%) = \frac{9 \times H_2 \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

H<sub>2</sub> = jumlah kg H<sub>2</sub> dalam 1 kg bahan bakar

C<sub>p</sub> = panas jenis uap lewat jenuh/*superheated steam* (0,45 kcal/kg)

- Persen kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar, *heat loss due to evaporation of moisture present in fuel (Lmf)*

$$Lmf (\%) = \frac{M \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

M = persen kadar air dalam 1 kg bahan bakar

- Persen kehilangan panas karena kadar air dalam udara, *heat loss due to moisture present in air (Lma)*

$$Lma (\%) = \frac{AAS \text{faktor kelembaban } C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

- Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang, *heat loss due to unburnt in fly ash (Lfa)*

$$Lfa (\%) = \frac{\text{total abu terkumpul/kg bahan bakar yang terbakar} \times GCV \text{ abu terbang}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

- Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah, *heat loss due to unburnt in bottom ash* (Lba)

$$L_{fa} (\%) = \frac{\text{total abu terkumpul/kg bahan bakar yang terbakar} \times \text{GCV abu bawah}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad (14)$$

- Persen kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung, *furnace body heat losses* (L<sub>Q</sub>)

$$L_Q = 4.88\varepsilon \left\{ \left( \frac{t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{a + 273}{100} \right)^4 \right\} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

t = Temperatur permukaan dinding *furnace*, [°C]

a = Temperatur udara sekitar *furnace*, [°C]

ε = Emisivitas radiasi permukaan dinding boiler

Kehilangan radiasi dan konveksi aktual dapat dikaji dengan mengetahui emisivitas permukaan yang beraneka ragam, kemiringan, pola aliran udara. Kehilangan dapat diasumsikan secara tepat tergantung pada kondisi permukaan. Namun demikian ada cara yang dapat dilakukan dengan mengukur temperatur permukaan boiler.

#### Tahap 5: Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler

$$\text{Efisiensi } \eta(\%) = 100 - (L_{dfg} + LH_2 + L_{mf} + L_{ma} + L_{fa} + L_{ba} + L_Q)$$

Data-data yang dikumpulkan berupa data spesifikasi, bahan bakar, temperatur, dan pengukuran gas buang untuk masing-masing boiler. Hasil pengukuran temperatur gas buang Boiler 1 adalah 270 °C lebih rendah bila dibandingkan dengan temperatur Boiler 2 yaitu 350 °C. Persentase O<sub>2</sub> pada gas buang sama, yaitu 8%. Data spesifikasi, bahan bakar, temperatur, dan pengukuran gas buang untuk masing-masing boiler secara detail diperlihatkan pada Tabel Lk-4-1.



Tabel Lk-4-1  
Spesifikasi dan hasil pengukuran boiler

Uraian	Boiler 1	Boiler 2	Satuan
Kapasitas	10	5	t/h
<b>Dimensi:</b>			
Panjang	6	4,8	m
Diameter	2,9	2	m
Luasan dinding vertikal	13,20	6,28	m <sup>2</sup>
Luasan permukaan silinder	54,64	30,14	m <sup>2</sup>
<b>Total luasan</b>	<b>67,84</b>	<b>36,42</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Emisivitas	0,85	0,85	
<b>Bahan Bakar dan Gas Buang:</b>			
Nilai kalori	42.119	42.119	kJ/kg
Jumlah udara teoritis	11,09	11,09	Nm <sup>3</sup> /kg
<i>Amount of the west gas( air ratio =1) G0</i>	11,82	11,82	Nm <sup>3</sup> /kg
Panas udara spesifik	1,3	1.3	kJ/Nm <sup>3</sup> °C
Panas spesifik gas buang	1,38	1,38	kJ/Nm <sup>3</sup> °C
Temperatur gas buang	270	350	°C
O2 % pada gas buang	8	8	%
<i>Excess Air Ratio</i>	1,62	1,62	
NOx % gas buang	250	250	ppm
Temperatur permukaan	150	150	oC
Konsumsi bahan bakar	750	394,7	kg/hr
Konsumsi air	10600	5200	kg/hr
Temperatur bahan bakar	33	33	°C
Temperatur air umpan	20	20	°C
Temperatur udara pembakaran	33	33	°C
Temperatur ambien	33	33	°C
<i>Blow rate</i>	6	6	%
<i>Blow Temp.</i>	170	170	°C

Berdasarkan hasil survei dan pengumpulan data, maka terdapat beberapa peluang penghematan energi yang dapat dilakukan, antara lain: perbaikan pembakaran dengan mengontrol rasio udara pembakaran dan pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara pembakaran.

Pada Boiler 1 terdapat beberapa potensi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi boiler, yaitu pengaturan udara umpan dan bahan bakar, serta pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar dengan memasang *preheater*. Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada boiler dapat dilihat pada Tabel Lk-4-2.

Tabel Lk-4-2  
Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada Boiler 1

Boiler 1	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan		Satuan
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	
Analisis Data				
Temperatur Gas Buang	270	270	170	°C
O2 % di dalam gas buang	8	4,5	4,5	%
Perbandingan Udara Lebih	1,62	1,27	1,27	
NOx % di dalam gas buang	250	250	250	ppm
Temperatur permukaan	150	150	150	°C
Konsumsi bahan bakar	750	750	725	kg/hr
Konsumsi air	10.600	10.600	10.600	kg/hr
Temperatur bahan bakar	33	33	33	°C
Temperatur air umpan	20	20	20	°C
Temperatur ambien	33	33	33	°C
Laju alir <i>blowdown</i>	6	6	6	%
Temperatur <i>blowdown</i> (estimasi)	170	170	170	°C
Perhitungan				
Energi masuk				
Energi masuk = konsumsi bahan bakar X Nilai kalori				
	31.589,25	31.589,25	30.536,28	MJ/hr
1) Kehilangan pada Gas Buang				
Laju alir gas buang = Laju alir bahan bakar x (G0 + A0 x (rasio udara lebih-1))				
	13.983,46	11.133,41	10.762,30	m <sup>3</sup> /h
Hilang panas di gas buang = laju gas buang x Nilai kalori x Temperatur gas buang				
	5.210,24	4.148,31	2.524,83	MJ/hr
2) Kehilangan panas				
	514,22	514,22	514,22	MJ/hr
Hilang radiasi = 4,88x4.186 x Emisivitas x Luas permukaan x( (Ts+273/100) <sup>4</sup> - (Ta+273/100) <sup>4</sup> ) /1000				
	273,85	273,85	273,85	MJ/hr
Hilang konveksi =9,208 x Luas permukaan x ( (Ts-Ta) 0,25 x (Ts-Ta))/1000				
	240,37	240,37	240,37	MJ/hr
3) Kehilangan karena <i>Blowdown</i>				
Hilang panas karena <i>Blow</i> = Laju alir <i>blow</i> x Koefisien panas x Beda temperatur				
	394,00	394,00	394,00	MJ/hr
Efisiensi Boiler	80,6%	84,0%	88,8%	

Boiler 1	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan		Satuan
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	
Penghematan				
Penghematan bahan bakar		25,21	34,54	kg/hr
		105.892,92	145.081,22	kg/yr
Penghematan biaya		21.178,58	29.016,24	\$/Yr
Biaya investasi <i>air heater</i>			40.000.00	\$
Reduksi emisi CO <sub>2</sub>		91.067,91	124.769,85	kg/yr
<i>Payback period</i>			1,45	Yr

Salah satu hal yang sangat penting untuk mengoptimalkan dan penyempurnakan pembakaran di dalam *burner* boiler adalah sistem pengendalian rasio udara pada sistem pembakaran (*combustion control system*). Sistem tersebut memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi boiler serta berfungsi menjaga komposisi aliran udara dan aliran bahan bakar yang tepat, sehingga terjadi proses pembakaran sempurna.

Berdasarkan hasil pengamatan, pengendalian rasio udara dan bahan bakar yang ada di pabrik ini dilakukan secara manual oleh operator dengan mengamati kandungan kadar oksigen (O<sub>2</sub>) dan memperhatikan asap yang keluar dari *stack* (cerobong). Selain itu kadar O<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai indikator sempurna-atau tidaknya proses pembakaran mengalami fluktuasi. Hal ini mengindikasikan bahwa rasio aliran udara dan aliran bahan bakar serta sistem pengendalian yang ada masih belum optimal. Oleh karena itu direkomendasikan untuk memasang sistem pengendalian rasio udara dan bahan bakar pada pembakaran boiler, serta mencari rasio aliran udara dan aliran bahan bakar yang optimal. Hal ini akan menurunkan kadar oksigen dari 8% menjadi 4,5%. Dengan demikian *excess air ratio* dapat diturunkan dari 1,6 menjadi 1,27. Hal ini akan meningkatkan efisiensi boiler dari 80,6% menjadi 84%, atau naik 4,2%.

Peningkatan efisiensi pada Boiler 2 dapat dilakukan dengan cara perbaikan pembakaran dengan mengontrol rasio udara, dan pemanfaatan gas buang untuk pemanasan awal udara pembakaran dan pemansangan *economizer*. Ringkasan hasil perhitungan peningkatan efisiensi Boiler 2 dapat dilihat pada Tabel Lk-4-3.

Tabel Lk-4-3  
Hasil perhitungan perbaikan efisiensi pada Boiler 2

Boiler 2	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan			Satuan
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	Pemanfaatan gas buang dengan memasang ekonimizer	
Analisis Data					
Temperatur Gas Buang	350	350	242	140	°C
O <sub>2</sub> % di dalam gas buang	8	4.5	4.5	4.5	%
Rasio Udara Lebih	1,62	1,27	1,27	1,27	
NO <sub>x</sub> % gas buang	250	250	250	250	ppm
Temperatur permukaan	150	150	150	150	°C
Konsumsi bahan bakar	394,7	394,7	382	362	kg/hr
Konsumsi air	5.200	10.600	10.600	10.600	kg/hr
Temperatur bahan bakar	33	33	33	33	°C
Temperatur air umpan	20	20	20	56	°C
Temperatur udara bakar	33	33			°C
Temperatur ambien	33	33	33	33	°C
Laju alir <i>blowdown</i>	6	6	6	6	%
Temperatur <i>blowdown</i> (estimasi)	170	170	170	170	°C
Perhitungan					
Energi masuk					
Energi masuk = konsumsi bahan bakar X Nilai kalori					
	16.624,37	16.624,37	16.089,46	15.247,08	MJ/hr
1) Kehilangan pada Gas Buang					
Laju alir gas buang = Laju alir bahan bakar x (G <sub>0</sub> + A <sub>0</sub> x (rasio udara lebih-1))					
	7.359,03	5.859,14	5.670,62	5.373,73	m <sup>3</sup> /h
Hilang panas di gas buang = laju gas buang x Nilai kalori x Temperatur gas buang					
	3.554,41	2.829,97	1.893,76	1.038,20	MJ/hr
2) Kehilangan panas					
	276,09	276,09	276,09	276,09	MJ/hr
Hilang Radiasi = 4.88x4.186 x Emisivitas x Luas permukaan x( (Ts+273/100) <sup>4</sup> - (Ta+273/100) <sup>4</sup> ) /1000					
	147,03	147,03	147,03	147,03	MJ/hr
Hilang Konveksi =9.208 x Luas permukaan x ( (Ts-Ta) 0.25 x (Ts-Ta))/1000					
	129,06	129,06	129,06	129,06	MJ/hr
3) Kehilangan karena <i>Blowdown</i>					
Hilang panas karena <i>Blow</i> = Laju alir <i>blow</i> x Koefisien panas x Beda temperatur					
	193,28	394,00	394,00	299,44	MJ/hr
Efisiensi Boiler	75,8%	78,9%	84,1%	89,4%	

Boiler 2	Kondisi sebelum perbaikan	Perbaikan dengan			Satuan
		Pengaturan udara umpan dan bahan bakar	Pemanfaatan gas buang untuk pemanasan udara bakar	Pemanfaatan gas buang dengan memasang ekonimizer	
Penghematan					
Penghematan bhn bakar		12,4	19,6	19,4	kg/hr
		52.224,8	82.126,1	81.357,8	kg/yr
Penghematan biaya		10.445,0	16.425,2	16.271,6	\$/Yr
Biaya investasi <i>air heater</i>			30.000,0	60.000,0	\$
<i>Payback period</i>			2,1	4,8	Yr
Reduksi emisi CO <sub>2</sub>		44.913,3	70.628,4	69.967,7	kg/yr

Dari proses pengukuran, analisis data, dan perhitungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peningkatan efisiensi boiler dapat diperoleh dengan jalan mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran, dan pemasangan *economizer*.
2. Efisiensi Boiler 1 dapat ditingkatkan dari 80,6% menjadi 88,8% dengan memasang *air heater* seharga US\$40.000.- Total penghematan yang diperoleh adalah US\$50.194 atau Rp592.298.000.- per tahun.
3. Perbaikan efisiensi Boiler 2 dapat dilakukan dengan cara mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran, dan pemasangan *economizer*. Total investasi yang dibutuhkan adalah US\$90.000, dan penghematan yang didapatkan US\$3.141,6 per tahun atau Rp509.070.000,-per tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhatia, A., B.E. 2012. *Improving Energy Efficiency of Boiler Systems*. [www.pdhcenter.com](http://www.pdhcenter.com).
- [2] *Boiler Efficiency Guide*. Printed in the USA, ©2010 Cleaver-Brooks, Inc. CB-7767.
- [3] BS 845-1:1987. *Methods for Assessing thermal performance of boilers for steam, hot water, and high temperatur heat transfer fluids* – BS 845-1:1987 Incorporating Amendment No. 1, 1999.
- [4] Dockrill, Paul, Frank Friedrich. *Boiler and Heaters: Improving Energy Efficiency*. I Federal Industrial Boiler Program Natural Resources Canada CANMET Energy Technology Central. 1 Haanel Drive, Nepean ON K1A 1M1.
- [5] Einstein, D., E. Worrell, M. Khrushch. *Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials*. Lawrence Berkeley National Laboratory. <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/789187-uTGqsP/native>.

- [6] *Energy Efficiency Best Practice Guide: Steam, Hot Water, and Process Heating Systems*.  
[http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Best\\_Practice\\_Guide\\_Heating.pdf](http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Best_Practice_Guide_Heating.pdf)
- [7] Energy Information Administration (EIA). International Energy Annual. Online Retrieved 3rd January 2009, from [www.eia.doe.gov/iea](http://www.eia.doe.gov/iea).
- [8] ERC. *How to Save Energy and Money in Boilers and Furnace Systems*. Energy Research Centre (ERC). University of Cape Town, South Africa.
- [9] Farthing, David C. Tech Paper #901. *Improving Boiler Room Efficiencies*. A Seminar on the ways and means of increasing boiler room efficiencies.
- [10] February 2002. *Boiler Blowdown Heat Recovery Project Reduces Steam System Energy Losses at Augusta Newsprint*. Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy Washington DC 20585-0121.
- [11] Krishnanunni, S., Josephkunju Paul, Mathu Potti, Ernest Markose Mathew. 2012. *Evaluation of Heat Losses in Fire Tube Boiler*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: [www.ijetae.com](http://www.ijetae.com) (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 2, Issue 12, December 2012).
- [12] Morimoto. 2003. *Energy Conservation in the Textile Industry*. ECCJ. Japan.
- [13] Saidur, R. 2011 *Energy Savings and Emission Reductions in Industrial Boilers*. THERMAL SCIENCE, Year 2011, Vol. 15, No. 3, pp. 705-719.
- [14] Schiffhauer, Mark. 2009. *Increasing Natural Gas Boiler Efficiency by Capturing Waste Energy*. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Pp 683-693.
- [15] Stein, Jeff. 2010. *Designing Efficient Boiler Systems for Commercial Buildings*. Taylor Engineering Alameda, CA. PG&E Energy Center (14).
- [16] Syllabus Boilers: *Types, Combustion in boilers, Performances evaluation, Analysis of losses, Feed water treatment, Blow down, Energy conservation opportunities*. Bureau of Energy Efficiency.
- [17] Teir, Sebastian, Antto Kulla. 2002. *Boiler Calculations*. Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Energy Engineering and Environmental Protection Publications Uap Boiler Technology eBook.
- [18] *The Energy Saving Technology in Boiler*. 2003. Tokyo Gas. Japan.



## BAB 5

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM DIESEL-GENERATOR

Hari Yurismo  
Pudjo Wahono Hadi  
Nur Rachman Iskandar  
Soleh  
Heru Eka Prawoto

**A**udit energi di industri sering meliputi pula kajian pada unit diesel-generator. Di beberapa industri unit ini dioperasikan secara kontinyu dalam menunjang kebutuhan (sebagian) energi listriknya. Namun lebih sering dijumpai peralatan tersebut diposisikan sebagai cadangan.

Dengan statusnya sebagai cadangan maka pengoperasian diesel-generator hanya pada saat sumber energi utama, misalnya pasokan listrik dari PT PLN (Persero), mengalami gangguan. Sedangkan selagi pasokan listrik tersebut berlangsung normal maka diesel-generator dioperasikan secara berkala, terjadwal, dan waktu yang relatif singkat dalam rangka perawatan dan menjaga kehandalannya. Sehingga kapanpun diperlukan maka diesel-generator ini siap dioperasikan dan menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan.

Audit energi dilakukan terhadap unit diesel-generator yang sedang dioperasikan. Atau dengan kata lain terhadap unit yang berstatus sebagai cadangan dan sedang tidak dioperasikan tidak harus dilakukan audit energi terhadap unit tersebut.

Meskipun demikian adakalanya, di suatu industri sekalipun unit diesel generator tersebut berstatus sebagai cadangan dan sedang tidak dioperasikan, pihak industri ingin mengetahui status kinerjanya. Untuk itu unit tersebut mesti dihidupkan atau dioperasikan selama beberapa jam hingga kondisinya stabil dengan menggunakan beban *dummy*. Selanjutnya dilakukan kajian atau “pemeriksaan” terhadap unit tersebut dengan pengambilan data/parameter operasionalnya (misal: laju alir dan

temperatur bahan bakar, komposisi dan temperatur gas buang, dan beberapa lainnya) melalui pemasangan alat-alat ukur atau alat ukur yang sudah terpasang pada unit tersebut. Selanjutnya dilakukan analisis/perhitungan untuk mendapatkan status kinerja atau efisiensinya.

## 5.1. DESKRIPSI SISTEM DIESEL-GENERATOR

### 5.1.1. Gambaran Umum

Dalam penentuan sumber listrik di industri diperlukan pertimbangan-pertimbangan dari segi teknis dan ekonomis. Pada umumnya industri menggunakan kombinasi sumber daya listrik dari PLN dan pembangkit listrik sendiri. Untuk pembangkit listrik sendiri, jenis pembangkit listriknya ditentukan oleh besarnya daya keluaran (*output*) yang diinginkan.

Untuk daya kecil sampai dengan sedang (2 MW) penggunaan diesel-generator akan memberikan nilai ekonomis yang relatif tinggi. Sedangkan untuk daya di atas 2 MW, pilihan turbin-generator akan lebih menguntungkan. Keuntungan diesel-generator adalah kemampuannya mencatu daya pada kapasitas kecil dengan efisiensi dan penggunaan yang fleksibel.

Dalam hal sumber listrik berasal dari PLN dan diesel-generator maka dibedakan 3 fungsi diesel-generator, yaitu:

#### 1. Sebagai Sistem Pendukung

Dalam hal ini industri menggunakan sumber listrik PLN untuk menanggung beban dasarnya. Diesel-generator berfungsi sebagai sistem pendukung yang akan mencatu daya hanya pada waktu beban puncak, sedangkan pada waktu beban normal semua beban listrik ditanggung PLN.

#### 2. Sebagai Sistem Cadangan (*Back-up System*)

Pada sistem ini diesel-generator hanya akan bekerja pada waktu terjadi gangguan pada PLN. Pada waktu biasa maka diesel-generator tidak dioperasikan tetapi tetap pada kondisi siap pakai (*stand-by*).

#### 3. Sebagai Sistem Pembangkit

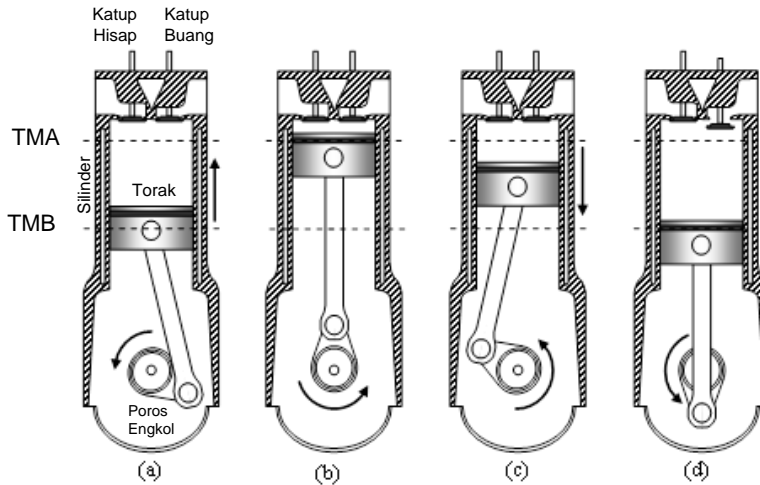
Bagi industri yang sama sekali tidak menggunakan PLN, maka pembangkitan listrik seluruhnya ditanggung diesel-generator.

### 5.1.2. Prinsip Kerja Mesin Diesel

Mesin diesel bekerja dengan dasar siklus diesel yang ditemukan oleh Rudolph Diesel pada tahun 1890. Siklus ini dikenal juga mesin kompresi (*compression engine*). Pada mesin diesel udara dikompresi sampai dengan temperatur udara lebih tinggi daripada temperatur nyala bahan bakar (*auto ignition temperature*). Pada kondisi ini bahan bakar diinjeksikan sehingga terjadi pembakaran dengan sendirinya.



Pada umumnya mesin diesel, terdapat tiga bagian utama yang meliputi silinder, torak, poros engkol, katup hisap, dan katup buang. Mekanisme inilah nantinya akan mengubah energi termal dari gas hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Prinsip kerja mesin diesel diperlihatkan pada Gambar 5-1 yang mengilustrasikan skema gerakan torak dan katup pada mesin diesel empat langkah.



Gambar 5-1. Skema gerakan torak dan katup pada mesin diesel empat langkah.

Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Langkah Pemasukan atau Hisap (Gambar 5-1-a)

Pada langkah ini torak atau piston bergerak dari posisi TMA (Titik Mati Atas) atau jarak terdekat dari kepala silinder menuju TMB (Titik Mati Bawah) atau jarak terjauh dari kepala silinder, sedangkan katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Akibat gerakan torak ini maka udara segar dari atmosfer terhisap dan mengalir masuk ke dalam silinder.

#### 2. Langkah Kompresi (Gambar 5-1-b)

Kedua katup menutup, torak bergerak dari TMB ke TMA menekan udara yang berada di dalam silinder. Kerja torak ini akan mengakibatkan terjadinya kenaikan tekanan dan temperatur udara di dalam silinder. Selama langkah kompresi ini terjadi, torak akan terus menekan hingga sampai pada jarak tertentu dari kepala silinder atau pada posisi TMA. Beberapa saat sebelum torak mencapai posisi TMA, bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder.

#### 3. Langkah Ekspansi (Gambar 5-1-c)

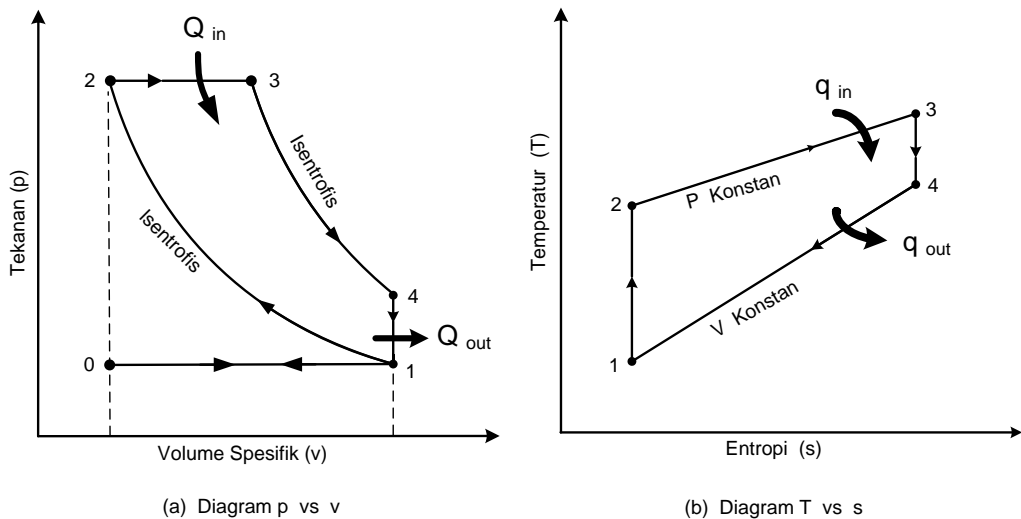
Injeksi bahan bakar ke dalam silinder yang berisi udara bertemperatur tinggi menyebabkan bahan bakar terbakar. Energi yang mengiringi gas hasil pembakaran akan mendorong torak bergerak menjauhi TMA dan akan memutar

poros engkol. Perilaku gas hasil pembakaran dalam mendorong torak disebut sebagai langkah ekspansi. Langkah ekspansi ini akan terus menggerakkan torak ke bawah hingga berada pada posisi yang terjauh dari kepala silinder atau posisi TMB. Kedua katup pada langkah ini tertutup.

#### 4. Langkah Buang.

Ketika torak hampir mencapai posisi TMB, katup buang terbuka dan katup masuk tetap tertutup. Selanjutnya dari posisi TMB piston bergerak menuju posisi TMA. Gas sisa pembakaran dibuang keluar ruang bakar melalui katup buang. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang kembali.

Berdasarkan prinsip kerja mesin diesel di atas, proses yang terjadi dapat disederhanakan menjadi penghisapan udara segar, kompresi, ekspansi, pembuangan, dan pencampuran dengan udara. Urutan proses tersebut dapat digambarkan pada diagram tekanan ( $p$ ) terhadap volume spesifik ( $v$ ) yang akan membentuk suatu proses tertutup dan disebut dengan siklus diesel. Secara ideal siklus diesel empat langkah dapat dilihat pada Gambar 5-2.



Gambar 5-2. Diagram Siklus Diesel (Siklus Tekanan Konstan).

Proses pada Gambar 5-2 dapat dijelaskan, sebagai berikut:

##### a). Langkah Hisap (0 - 1)

Langkah ini terjadi pada tekanan tetap. Pada kondisi ini udara masuk ke dalam ruang silinder akibat pergerakan torak dari TMA menuju TMB.

Sehingga udara seolah-olah melakukan kerja sebesar  $W$  dengan persamaan:

$$W_{0-1} = P_0 \times (V_1 - V_0)$$

keterangan:

$W_{0-1}$  = kerja yang dilakukan, [kJ]

$P_0$  = tekanan gas, [kPa]

$V_0$  = volume pada kondisi di titik 0, [m<sup>3</sup>]

$V_1$  = volume pada kondisi di titik 1, [m<sup>3</sup>]

b). Langkah Kompresi (1 - 2)

Proses yang terjadi pada langkah kompresi adalah kompresi isentropis ( $Q = 0$  dan  $\Delta S = 0$ ). Untuk proses ini berlaku persamaan:

$$\frac{T_e}{T_i} = \left( \frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{V_i}{V_e} \right)^{k-1}$$

Subskrip i dan e berturut-turut menandakan keadaan awal dan keadaan akhir, maka persamaannya menjadi:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)^{k-1} = r^{k-1}$$

keterangan:

$k$  = perbandingan panas spesifik

$\gamma$  = massa jenis bahan bakar, [kg/m<sup>3</sup>]

$r$  = perbandingan kompresi =  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_L + V_S}{V_S}$

$V_L$  = volume langkah torak, [m<sup>3</sup>]

$V_S$  = volume sisa, [m<sup>3</sup>]

Dengan demikian kerja yang dilakukan:

$$W_{3-4} = \Delta U = U_3 - U_4$$

c). Proses Pembakaran (2 - 3)

Proses pembakaran ini berlangsung pada tekanan konstan atau  $P_2 = P_3$ . Persamaan yang berlaku pada proses ini adalah:

$$Q_{2-3} = (U_3 - U_2) + W_{3-2}$$

Sedangkan besarnya kerja yang dilakukan adalah:

$$W_{2-3} = P_2 \times (V_3 - V_2)$$

Dengan mensubstitusikan kerja tersebut, maka besarnya kalor yang masuk adalah:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= Q_{2-3} \\ &= (U_3 - U_2) + W_{3-2} \\ &= (U_3 - U_2) + P_2 \times (V_3 - V_2) \\ &= (U_3 + P_2 \cdot V_3) - (U_2 + P_2 \cdot V_2) \\ &= H_3 - H_2 \end{aligned}$$

$$Q_{in} = m \times C_p \times (T_3 - T_2)$$

keterangan:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \text{kalor yang diserap bahan bakar, [kJ]} \\ m &= \text{massa bahan bakar, [kg]} \\ C_p &= \text{kapasitas panas bahan bakar pada tekanan tetap, [kJ/kg.°C]} \\ T_3 &= \text{temperatur pada titik 3, [°C]} \\ T_2 &= \text{temperatur pada titik 2, [°C]} \end{aligned}$$

d). Langkah Ekspansi (3 - 4)

Pada langkah ini terjadi proses ekspansi secara isentropis dan tidak ada kalor yang terbuang ( $Q = 0$ ;  $\Delta S = 0$ ), sehingga persamaan yang berlaku adalah:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{V_4}{V_3} \right)^{k-1} = \left( \frac{\gamma_4}{\gamma_3} \right)^{k-1} = r^{k-1}$$

Sedangkan kerja yang dihasilkan adalah:

$$W_{3-4} = \Delta U = U_3 - U_4$$

keterangan:

$$\begin{aligned} W_{3-4} &= \text{kerja yang dihasilkan selama langkah ekspansi, [kJ]} \\ \Delta U &= \text{perubahan energi dalam, [kJ]} \end{aligned}$$

e). Proses Pembuangan (4 - 1)

Proses ini terjadi pada tekanan konstan dan besarnya kalor yang dihasilkan adalah:

$$Q_{4-1} = \Delta U = m \times C_v \times (T_1 - T_4)$$

keterangan:

$$\begin{aligned} Q_{4-1} &= \text{kalor yang dihasilkan, [kJ]} \\ m &= \text{massa bahan bakar, [kg]} \\ C_v &= \text{kapasitas panas bahan bakar pada tekanan tetap (kJ/kg.°C)} \\ T_1 &= \text{temperatur pada titik 1, [°C]} \end{aligned}$$

$T_4$  = temperatur pada titik 4, [°C]

f). Langkah Buang (1 - 0)

Langkah Buang (1 - 0)

Pada proses ini kerja yang dilakukan terjadi pada tekanan konstan.

$$W_{1-0} = P_0 \times (V_1 - V_0)$$

keterangan:

$W_{1-0}$  = kerja yang dilakukan (kJ)

$P_0$  = tekanan pada kondisi titik 0 (kPa)

$V_1$  = besarnya volume pada titik 1 (m<sup>3</sup>)

$V_0$  = besarnya volume pada titik 0 (m<sup>3</sup>)

Dengan demikian apabila ditinjau dari satu siklus penuh, maka kerja yang dihasilkan untuk setiap 1 kg udara adalah:

$$\begin{aligned} W &= (H_3 - H_2) + (U_1 - U_4) \\ &= Q_{3-2} + Q_{4-1} \\ &= Q_i + Q_o \\ &= \{m \times C_p \times (T_3 - T_2)\} - \{m \times C_v \times (T_1 - T_4)\} \end{aligned}$$

Tanda negatif di atas menyatakan bahwa kalor tersebut keluar dari sistem. Dari perumusan di atas dapat diketahui pula besarnya efisiensi siklus dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{W}{Q_i} = \frac{Q_i - Q_o}{Q_i} \\ &= 1 - \frac{Q_o}{Q_i} \\ &= 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_1)} \end{aligned}$$

### 5.1.3. Kinerja Mesin Diesel

Kinerja mesin diesel merupakan suatu ukuran atau nilai yang menyatakan baik tidaknya kondisi kerja mesin tersebut. Ukuran-ukuran tersebut meliputi: (a) daya poros, (b) energi bahan bakar, (c) energi panas, (d) energi gas buang, dan (e) efisiensi termal.

#### a. Daya Poros

Daya poros merupakan daya yang digunakan untuk menggerakkan beban yang dalam hal ini adalah alternator. Besarnya daya poros dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_e = T \times \omega$$

$$= T \times \frac{2\pi n}{60}$$

keterangan:

$N_e$  = daya poros, [Watt]  
 $T$  = torsi, [Nm]  
 $n$  = putaran poros, [rpm]

#### b. Energi Bahan Bakar

Energi bahan bakar merupakan energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, yaitu:

$$E_{bb} = m_b \times N_c$$

keterangan:

$E_{bb}$  = energi bahan bakar, [kW]  
 $m_b$  = aliran massa bahan bakar, [kg/detik]  
 $N_c$  = nilai kalor bahan bakar, [kJ/kg]

#### c. Energi Panas

Energi panas yang dimaksud adalah energi yang terbuang melalui fluida pendingin dalam bentuk panas. Besarnya energi ini adalah:

$$Q_c = m_c \times C_p \times (T_{c\ out} - T_{c\ in})$$

keterangan:

$Q_c$  = energi panas yang terbuang melalui fluida pendingin, [kW]  
 $m_c$  = laju alir massa fluida pendingin, [kg/detik]  
 $C_p$  = kapasitas panas fluida pendingin, [kJ/kg.°C]  
 $T_{c\ out}$  = temperatur keluar fluida pendingin, [°C]  
 $T_{c\ in}$  = temperatur masuk fluida pendingin, [°C]

#### d. Energi Gas Buang

Energi ini merupakan energi dari gas hasil pembakaran yang sudah tidak dapat dimanfaatkan dan terbuang melalui gas buang.

#### e. Efisiensi Termal

Efisiensi termal merupakan perbandingan antara kerja yang dihasilkan (berupa daya poros) terhadap energi *input* yang dibutuhkan (berupa energi panas bahan bakar). Efisiensi termal ini dapat dinyatakan sebagai performansi atau kinerja mesin diesel. Efisiensi termal mesin diesel dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{E_{bb}}$$

keterangan:

$\eta_{th}$  = efisiensi termal

$N_e$  = kerja *output* yang dihasilkan, [kW]

$E_{bb}$  = energi bahan bakar, [kW]

Dalam diesel terdapat istilah *Cut off Ratio* ( $r_c$ ):

$$r_c = V_3/V_2 = v_3/v_2$$

Untuk gas ideal proses isentropis 1-2 dan 3-4 berlaku:

$$T_1/T_2 = (v_2/v_1)^{k-1} = (v_3/v_4)^{k-1} = T_4/T_3$$

Sehingga efisiensi termal diesel adalah:

$$\eta_{th Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \frac{rc^{k-1}}{k(r_c - 1)}$$

keterangan:  $k$  = *specific heat ratio* ( $= C_p/C_v$ )

(untuk udara  $k = 1,4$ )

$r$  = perbandingan kompresi ( $= V_{max}/V_{min} = V_1/V_2 = v_1/v_2$ )

Perbandingan kompresi sangat berpengaruh pada efisiensi termal (Gambar 5-3).

Untuk memperbaiki efisiensi diesel dikembangkan siklus *dual* dengan membagi proses pembakaran menjadi dua bagian, yaitu: (1) pembakaran dengan volume konstan dan (2) pembakaran dengan tekanan konstan. Siklus *dual* dapat dilihat pada Gambar 5-4.

Efisiensi termal untuk siklus *dual* adalah:

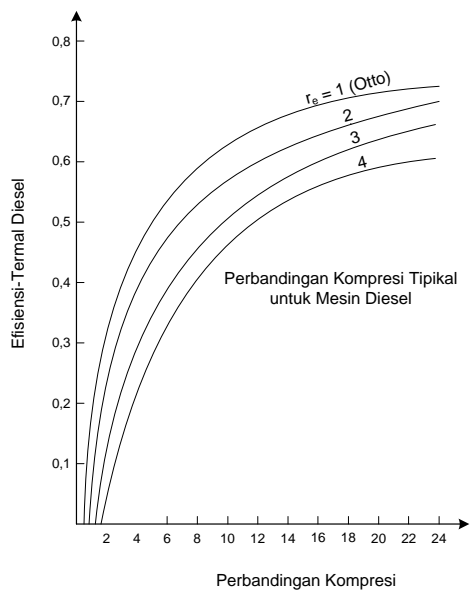
$$\eta_{th Diesel} = 1 - \frac{1}{r_k^{k-1}} \frac{(r_p rc^{k-1})}{[r_p - 1 + r_p k(r_c - 1)]}$$

keterangan:

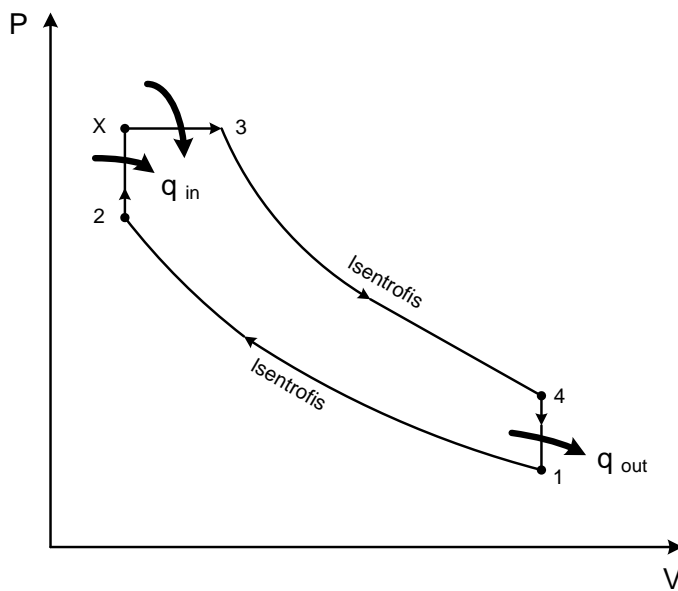
$r_p$  = perbandingan tekanan pada pembakaran v konstan

$r_c$  = perbandingan *cut off*

$r_k$  = perbandingan kompresi



Gambar 5-3. Efisiensi termal siklus Diesel ideal sebagai fungsi perbandingan kompresi dan *cut off ratio* ( $k=1,4$ ) (Cengel, ref.1)

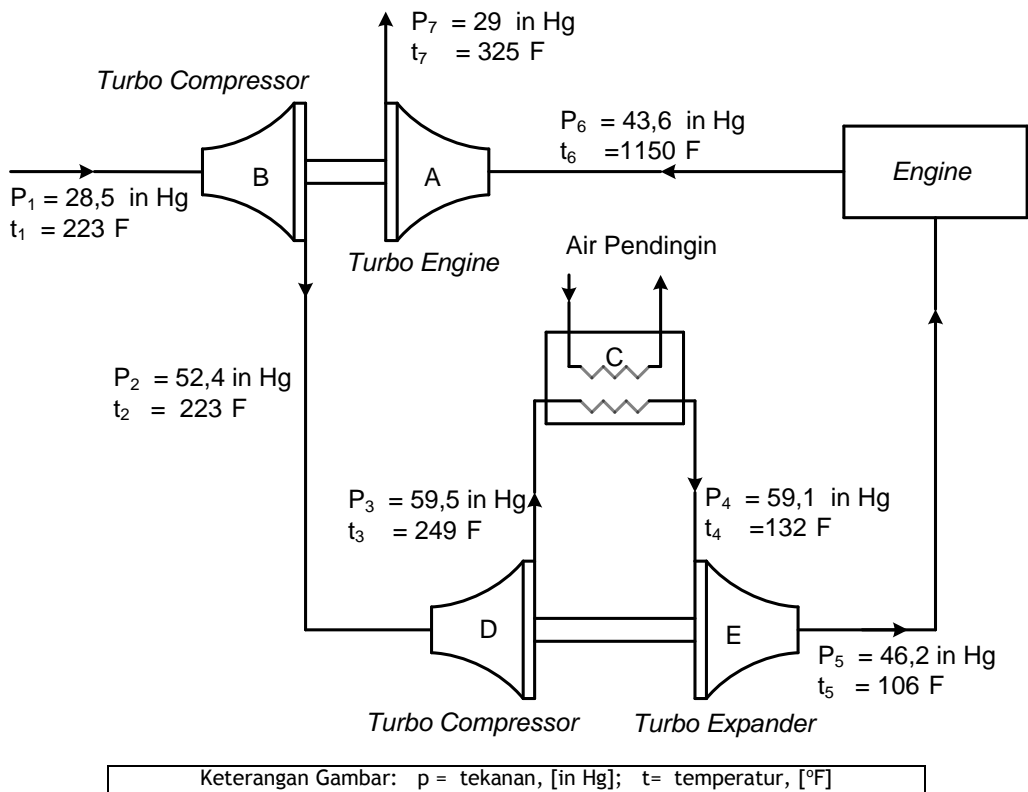




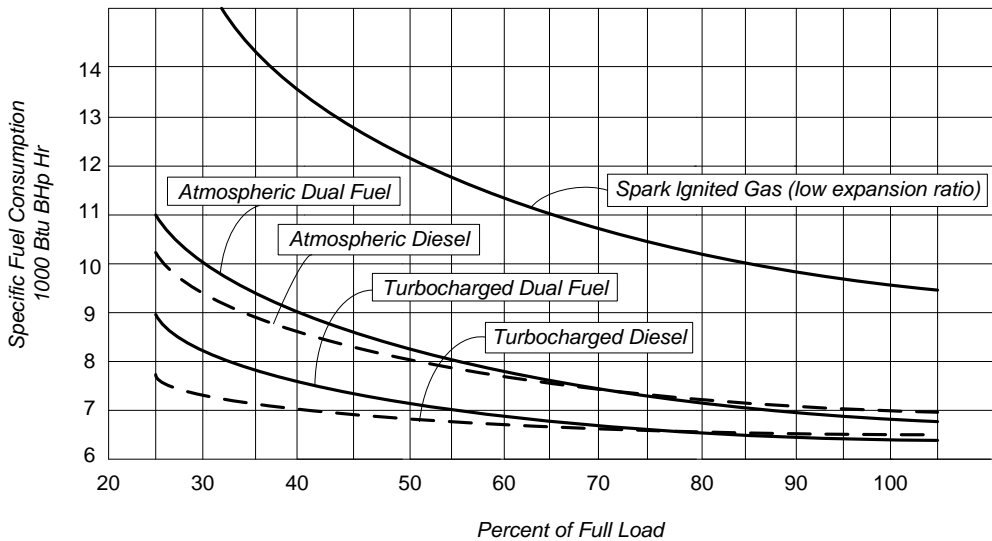
Gambar 5-4. Diagram P-v untuk siklus *dual* ideal.

Untuk mesin-mesin diesel besar pada umumnya dilengkapi dengan *turbo charging* yang berfungsi untuk memampatkan udara sebelum proses kompresi, sehingga menaikkan laju alirnya. Salah satu contoh penggunaan *turbo charger* dapat dilihat pada Gambar 5-5.

Penggunaan *turbo charger* ini sangat menguntungkan dalam beberapa hal di antaranya penghematan bahan bakar yang diperoleh seperti ditunjukkan dalam perbandingan pada Gambar 5-6.



Gambar 5-5. *Turbo Charger* pada mesin diesel besar. (Obert, ref.2)



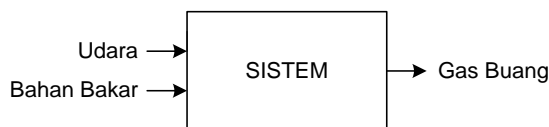
Gambar 5-6. Perbandingan ekonomi dari berbagai mesin 4 langkah dasar LHV.  
(Obert, ref.2)

#### 5.1.4. Neraca Massa dan Energi

Terhadap sistem diesel-generator dapat dibuat neraca massa dan energi. Secara praktis diagram neraca massa dapat dilihat pada Gambar 5-7.

Tampak bahwa massa masuk dan keluar adalah sebagai berikut:

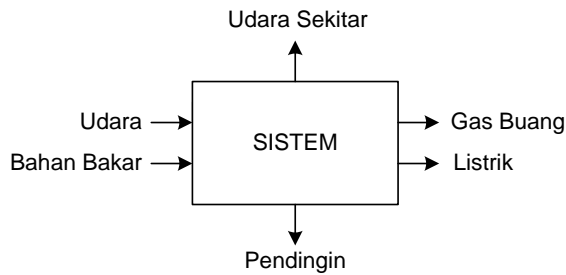
- Massa masuk : udara  
bahan bakar
- Massa keluar : gas buang (*exhaust gas*)



Gambar 5-7. Diagram neraca massa.

Berdasarkan neraca massa tersebut di atas, selanjutnya dapat dihitung/disusun neraca energi. Diagram neraca energi sistem diesel-generator dapat dilihat pada

Gambar 5-8.



Gambar 5-8. Diagram neraca energi mesin Diesel.

Tampak bahwa komponen-komponen penyusun neraca energi terdiri atas:

- Energi Masuk, berasal dari 2 komponen, yaitu: (1) udara dan (2) bahan bakar.

Untuk udara, energi yang diperhitungkan adalah energi yang dibawa dalam udara masuk yakni panas *sensible* udara dengan kandungan airnya. Sedangkan untuk bahan bakar, energi yang diperhitungkan adalah *sensible heat* dan harga kalorinya

- Energi Keluar

Energi keluar dari sistem terdiri atas energi yang berguna, dalam hal diesel-generator maka berupa energi listrik. Energi keluar lainnya adalah rugi-rugi panas, rugi-rugi mekanik, panas terbuang dari pendinginan, dan panas terbuang dalam gas buang.

## 5.2. AUDIT ENERGI PADA SISTEM DIESEL-GENERATOR

### 5.2.1. Tujuan

Tujuan melakukan audit energi pada sistem diesel-generator adalah untuk mendapatkan neraca energi sistem pada beban tertentu, yang selanjutnya akan didapatkan:

- Efisiensi sistem;
- Konsumsi bahan bakar spesifik;
- Potensi penghematan energi.

Efisiensi sistem diesel-generator merupakan fungsi dari beban. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran dan analisis dengan variasi beban.

Diesel-generator mempunyai efisiensi tertinggi pada pembebanan sekitar 80% dari beban nominalnya. Oleh karena itu pada saat melakukan audit energi dianjurkan agar sistem diberikan beban setidaknya pada 3 kondisi, yaitu pada beban-beban 50,

75, dan 100% dari beban nominalnya. Pada setiap pembebanan dilakukan pengambilan data selama 2 jam dengan interval waktu 15 menit sekali.

Data yang didapatkan dari pengukuran tersebut selanjutnya dibandingkan dengan data acuan kondisi desain dari pabrik pembuatnya.

Apabila terjadi penyimpangan harga yang relatif besar (efisiensi terukur <70% dari efisiensi standar) maka diesel-generator tersebut telah mengalami penurunan kinerja yang perlu mendapat perhatian khusus. Sehingga dalam hal ini dianjurkan untuk dilakukan pemeriksaan lebih seksama terhadap sistem.

Untuk diesel-generator yang mempunyai efisiensi dalam kategori normal maka peningkatan efisiensi sistem hanya bisa dilakukan dengan penggunaan panas terbuang.

Ada beberapa cara pemanfaatan panas terbuang antara lain:

- Pemanfaatan panas gas buang;
- Pemanfaatan panas dari pendingin mesin.

Adapun besarnya energi yang bisa dimanfaatkan akan terlihat dalam neraca energi yang didapatkan.

## **5.2.2. Ruang Lingkup**

### **5.2.2.1. Ruang Lingkup Kajian**

Pengertian ruang lingkup kajian di sini adalah “wilayah” mana saja yang menjadi sasaran atau tugas untuk dilakukan kajiannya. Untuk audit energi pada sistem diesel-generator ruang lingkup kajiannya meliputi: mesin diesel, generator, dan kelengkapannya.

### **5.2.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan**

Sedangkan yang dimaksud dengan ruang lingkup kegiatan/pekerjaan adalah hal-hal apa saja yang mesti dilakukan dalam melaksanakan kegiatan atau pekerjaan audit energi pada sistem diesel-generator.

Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan inilah yang akan dibahas secara rinci di dalam buku ini, mulai Subbab 5.3 hingga selesai.

Perlu disampaikan di sini bahwa Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan dirancang berdasarkan Ruang Lingkup Kajian. Oleh karena itu dengan melaksanakan - tahap demi tahap - kegiatan/pekerjaan sebagaimana diuraikan pada Subbab 5.3 hingga selesai berarti juga sudah memenuhi Ruang Lingkup Kajian.

Ruang lingkup kegiatan/pekerjaannya meliputi: a) Persiapan, b) pengukuran, c) analisis, dan d) penyusunan laporan.

## 5.3. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM DIESEL-GENERATOR

### 5.3.1. Data Awal

Dalam tahap persiapan hal penting yang mesti dipenuhi adalah informasi tentang data awal. Dengan adanya data awal ini maka tim auditor dapat mempersiapkan atau mengantisipasi segala sesuatu yang dibutuhkan pada saat pelaksanaan pengumpulan data di lapangan/pabrik dengan lebih teliti dan lengkap. Segala sesuatu yang dimaksudkan di sini meliputi: jumlah personil, waktu yang dibutuhkan untuk pengumpulan data, dan peralatan yang akan dibawa (alat-alat ukur, pendukung, dan keselamatan (*safety*)).

Data awal yang dibutuhkan adalah:

- Jumlah dan spesifikasi masing-masing diesel generator;
- Alat ukur yang terpasang dan beroperasi dengan baik atau pembacaannya akurat, misalnya:
  - *Flowmeter* (untuk bahan bakar, udara, dan air)
  - *Pressure-meter*
  - *Temperature-meter*
  - *Gas analyser* (untuk gas buang)

Data awal tersebut di atas dapat diperoleh melalui 2 cara, yaitu: 1) tinjauan langsung atau survei awal, atau 2) pengiriman lembar isian atau kuesioner.

Cara pertama, yakni tinjauan langsung atau survei awal merupakan cara yang sangat disarankan. Melalui survei awal ini tim auditor dapat mencatat, melihat, mendengar, dan merekam/mendokumentasikan secara langsung sistem yang akan diauditnya.

Pada saat melakukan survei awal ini tim auditor disarankan membawa serta Lembar Isian (Kuesioner) Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran 1-1). Dengan demikian Lembar Isian ini langsung diisi oleh tim auditor.

Cara kedua adalah mengirimkan Lembar Isian sebagaimana dimaksudkan di atas. Tim Auditor bersikap pasif, menunggu hingga kuesioner itu diisi oleh pihak pabrik dan dikembalikan kepada tim auditor.

### 5.3.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 5.3.2.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan data awal sebagaimana diuraikan di dalam Subbab 5.3.1, selanjutnya dibentuk Tim. Personil yang dibutuhkan sangat tergantung pada lingkup audit yang

akan dilakukan serta jumlah dan ukuran peralatan yang akan diaudit. Kebutuhan minimum personil untuk melakukan audit pada sistem diesel-generator sebanyak 3 orang, yaitu:

- 1 orang auditor energi (*mechanical/process engineer*) selaku Koordinator atau *Lead Auditor*;
- 1 orang teknisi mekanikal; dan
- 1 orang teknisi elektrikal.

#### 5.3.2.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem diesel-generator. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Diesel-Generator (Lampiran 1-5) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem diesel-generator di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan alat-alat pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Diesel-Generator; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem diesel-generator ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i). Apabila audit energi pada sistem diesel-generator ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem diesel-generator saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Teknisi bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem diesel-generator. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- c). Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Diesel-Generator (Lampiran 1-5);
- d). Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem diesel-generator.

### 5.3.3. Penyusunan Jadwal Kegiatan

Apabila audit energi pada sistem diesel-generator ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator Tim tidak perlu menyusun jadwal kegiatan. Koordinator beserta segenap anggota Tim mengikuti jadwal yang telah disusun oleh Manajer Tim, yang merupakan bagian dari kegiatan secara keseluruhan.

Namun, apabila audit energi pada sistem diesel-generator ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem diesel-generator saja, maka Koordinator bertugas menyusun jadwal kegiatan. Contoh jadwal kegiatannya dapat dilihat pada Tabel 5-1.

Tabel 5-1

Contoh jadwal kegiatan audit energi pada sistem diesel-generator  
(apabila audit energi hanya pada sistem diesel-generator)

No	Kegiatan	Minggu Ke-				
		1	2	3	4	5
1	Persiapan - Pengumpulan data awal (melalui survei awal atau pengiriman kuesioner) - Pembahasan data awal, pembentukan tim, persiapan peralatan, dan mobilisasi					
2	Pengumpulan data primer dan sekunder					
3	Evaluasi dan Analisis Data					
4	Penyusunan laporan					
5	Presentasi laporan akhir					
6	Koordinasi manajemen					

### 5.3.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

#### 5.3.4.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 5.3.2.2. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

#### 5.3.4.2. Persiapan Teknis

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:



- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Dengan mengetahui jenis dan jumlah alat-alat ukur yang terpasang di pabrik (melalui data awal) maka pada tahap persiapan ini dapat dipersiapkan alat-alat yang harus dibawa ke pabrik. Rincian peralatan tersebut di atas, yang biasa digunakan saat melakukan audit energi pada sistem diesel-generator dapat dilihat pada Tabel 5-2 s.d 5-4.



Tabel 5-2  
Peralatan ukur untuk audit energi pada sistem diesel-generator \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<p><b><i>Ultrasonic liquid flowmeter</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur laju aliran fluida yang melalui pipa dengan cara memasang sensor <i>ultrasonic</i> dari alat ini pada bagian luar pipa.</li> </ul>	
<p><b><i>Non contact thermometer</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur temperatur pada permukaan objek ukur</li> </ul>	
<p><b><i>Infrared thermography</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kamera yang berfungsi untuk mengukur temperatur benda untuk mendeteksi adanya masalah, seperti pada sambungan kabel instalasi listrik, dinding diesel-generator, dengan menampilkan gambar <i>infrared</i> dari benda yang diukur yang mencantumkan besar nilai temperaturnya.</li> </ul>	
<p><b><i>Gas Analyser</i></b></p> <p>(<a href="http://www.bacharach-inc.com/eca-450.htm">http://www.bacharach-inc.com/eca-450.htm</a>)</p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengukur kadar gas pada gas buang, meliputi O<sub>2</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub>;</li> <li>- Mengukur temperatur gas buang.</li> </ul>	
<p><b>Higrometer</b></p> <p>Fungsi:</p> <p>Mengukur kelembaban nisbi udara.</p>	
<p><b>Termokopel</b></p> <p>Fungsi:</p> <p>Mengukur temperatur.</p>	
<p><b>Anemo Meter</b></p> <p>(<a href="http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=7&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=68&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=">http://www.lutron.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=1&amp;hidTypeID=7&amp;hidCatID=&amp;hidShowID=68&amp;hidPrdType=&amp;txtSrhData=</a>)</p> <p>Fungsi:</p> <p>Mengukur kecepatan udara.</p>	

<b>Digital Multimeter</b>  (Fluke 787/EUR TRMS) ( <a href="http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V">http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V</a> )  <b>Fungsi:</b> Mengukur besaran listrik (secara terbatas): tegangan, arus, tahanan.	
<b>Clamp-on Power Meter</b> (Hioki 33285 Digital Clamp Meter) ( <a href="http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter">http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter</a> )  <b>Fungsi:</b> Mengukur besaran listrik, meliputi: tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya.	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 5-3  
Peralatan pendukung untuk audit energi pada sistem diesel-generator \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Kabel Gulung Listrik</b>  <b>Fungsi:</b> - Untuk menyalurkan arus listrik hingga jarak 25 m dari sumber listrik.	  (25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets) ( <a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a> )
<b>Peralatan Mekanik</b>  <b>Fungsi:</b> - Sebagai alat bantu untuk pekerjaan yang bersifat mekanik.	  ( <a href="http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html">http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html</a> )
<b>Kamera (Digital)</b>  <b>Fungsi :</b> - Mendokumentasikan (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis.	  ( <a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a> )
<b>Meteran</b>  <b>Fungsi :</b> - Mengukur dimensi (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis	  ( <a href="http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20">http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20</a> )

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 5-4  
Peralatan K-3 untuk audit energi pada sistem diesel-generator \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Pelindung Kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) ( <a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a> )	
<b>Kacamata keselamatan</b> (Hornets safety glasses) ( <a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a> )	
<b>Sarung-tangan kain</b> ( <a href="http://distributorsarungtangan.com/">http://distributorsarungtangan.com/</a> )	
<b>Sarung tangan anti panas</b> <a href="http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a>	
<b>Pelindung mulut dan hidung</b> ( <a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a> )	
<b>Lampu senter</b> ( <a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a> )	
<b>Pelindung telinga</b> ( <a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a> )	
<b>Pakaian keselamatan</b> ( <a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a> )	
<b>Sepatu keselamatan</b> ( <a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a> )	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### 5.3.5. Persiapan dan Pengarahan K-3

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu ilmu yang membahas tentang keselamatan dan kesehatan pekerja, lingkungan kerja, dan hasil kerja. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Produktivitas suatu perusahaan salah satunya sangat bergantung pada peran yang dilakukan oleh tenaga kerjanya. Kemampuan tenaga kerja untuk melakukan produksi memerlukan dukungan dan jaminan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

Bahaya kesehatan penting yang mungkin memiliki dampak kesehatan di industri di antaranya:

- Debu yang berada dan melayang di udara
- Kebisingan dan getaran
- Atmosfer yang berbahaya
- Radiasi
- Penanganan bahan bakar alternatif

Terkait dengan kegiatan audit energi, selayaknya Buku Panduan tentang K-3 juga dimiliki oleh suatu institusi atau tim auditor energi. Dengan demikian pada saat tim auditor energi akan diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, maka Koordinator mengingatkan kembali dan/atau memberikan pengarahannya di bidang K-3.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

### 5.3.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## 5.4. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER

### 5.4.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Sebelum kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder dilaksanakan, tim auditor disarankan untuk melakukan prosesi pembukaan kepada pemilik atau pengelola industri - lazim disebut dengan *auditee* atau pihak yang akan diaudit - sebagaimana layaknya seorang tamu. Langkah pembukaan ini merupakan langkah awal yang akan mengantarkan auditor melaksanakan langkah kegiatan selanjutnya.

Pada rapat pembukaan/*opening meeting*, Tim Auditor memaparkan data-data diesel generator yang dibutuhkan. Di samping itu pengenalan tim survei/audit, pemaparan latar belakang, maksud, tujuan dan lingkup survei, pemaparan tim *auditee* tentang sistem yang disurvei dan pemaparan agenda survei. Perkenalan tim auditor sistem diesel-generator dan tim *auditee* dilakukan pula pada acara ini. Pengenalan tim dimaksudkan agar masing-masing pihak dapat mengetahui siapa saja yang akan melakukan survei lapangan.

Dalam pengenalan tim, ketua tim survei harus memperkenalkan nama anggota tim, posisi serta tugasnya di dalam survei. Jika diperlukan, dapat ditambahkan latar belakang dan kompetensi anggota tim, supaya komunikasi dengan pihak *auditee*/obyek survei dapat lebih mudah. Dari pihak *auditee*, harus diperkenalkan juga siapa yang bertanggungjawab dan mendampingi dalam pengumpulan data sistem diesel-generator

### 5.4.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

#### 5.4.2.1. Pengumpulan Data Primer

##### A. Data yang Dibutuhkan

Data primer yang dibutuhkan selengkapnya dapat dilihat pada Lembar Isian Sistem Diesel-generator pada Lampiran 1-5. Secara umum data primer yang harus diperoleh - melalui pengukuran - meliputi:

- a) Bahan Bakar : - laju alir, [ton/jam] atau [kl/jam]  
- temperatur, [°C]
- b) Udara Pembakaran : - laju alir, [ton/jam] atau [m<sup>3</sup>/jam]  
- temperatur, [°C]  
- kelembaban relatif, [%]
- c) Udara di Permukaan Mesin: - temperatur, [°C]  
- kecepatan, [m/detik]

- d) Gas Buang : - kadar O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan CO, [%]  
- temperatur, [°C]
- e) Air Pendingin : - laju alir masuk dan keluar, [ton/jam]  
- temperatur masuk dan keluar, [°C]
- f) Dinding Diesel-generator : - temperatur permukaan, [°C]
- g) Listrik yang Dihasilkan : - tegangan, [Volt]  
- arus, [Ampere]  
- daya, [kVA atau kW]  
- faktor daya  
- frekuensi, [Hz]

## B. Periode Pengukuran

Pengukuran diupayakan dapat dilakukan dengan 3 variasi beban, yakni beban diesel-generator 50, 75, dan 100 persen dari beban nominalnya. Pada masing-masing tingkat beban tersebut, diesel-generator diukur selama 1 jam.

Pada tahap pertama, diesel-generator beroperasi dengan beban 50 persen. Pada tingkat beban ini dilakukan pengukuran parameter operasi sebagaimana diuraikan pada subbab 5.4.2.1. butir A, selama 1 jam.

Selanjutnya beban diesel-generator dinaikkan menjadi 75 persen dan dilakukan pengukuran serupa selama 1 jam. Terakhir, diesel generator dibebani 100 persen dan dilakukan lagi pengukuran selama 1 jam.

## C. Penentuan Titik Pengukuran

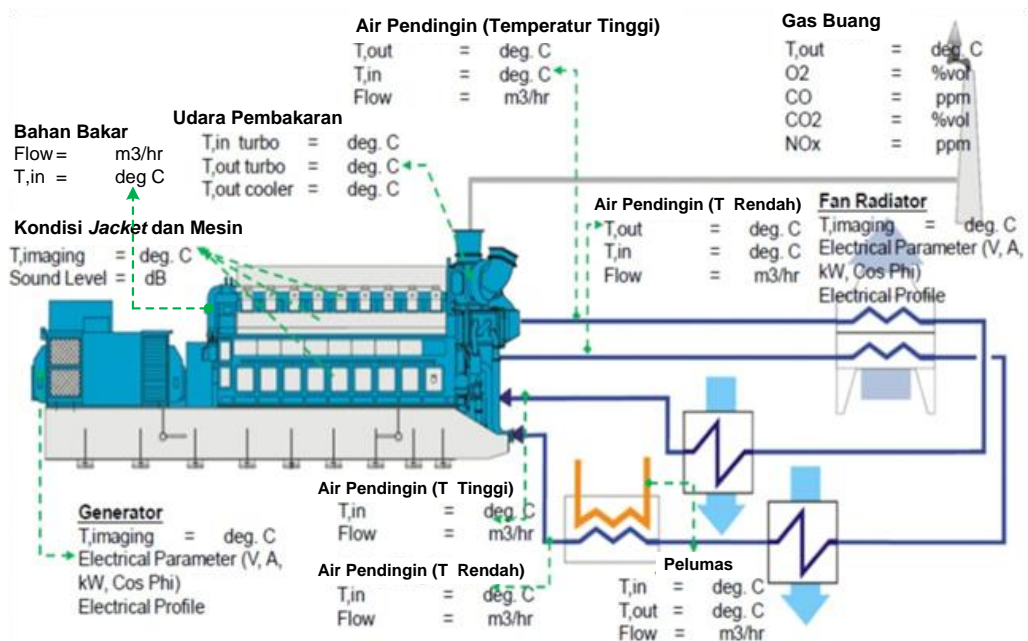
Sebelum berangkat menuju lokasi atau sebelum melakukan pengukuran untuk pengambilan data primer, Koordinator Tim memberikan penjelasan kepada para anggotanya perihal titik-titik pengukuran.

Yang dimaksud dengan titik-titik pengukuran adalah titik atau lokasi untuk dipasangnya alat-alat ukur.

Ilustrasi tempat titik-titik pengukuran pada sistem diesel-generator dapat dilihat pada Gambar 5-9.

Lokasi pemasangan alat ukur harus disepakati dengan *auditee*. Jika diperlukan tambahan pekerjaan untuk pemasangan alat ukur harus disetujui oleh pihak *auditee* dan dikerjakan sebelum survei lapangan dilaksanakan. Pemasangan peralatan ukur harus didampingi oleh pihak *auditee* atau jika memungkinkan dilakukan oleh pihak *auditee* dengan supervisi dari auditor. Setiap data primer yang diperoleh dicatat dan dimasukkan ke dalam berita acara pengumpulan data primer untuk disampaikan dan

disetujui oleh pihak *auditee* pada saat pertemuan penutup.



Gambar 5-9. Tempat titik-titik ukur pada sistem diesel-generator.

## D. Pelaksanaan Pengukuran

### D.1. Bahan Bakar

Laju alir dan temperatur bahan bakar diukur pada titik menjelang masuk atau diumpankan ke diesel-generator. Sekiranya diesel-generator tersebut sudah dilengkapi dengan alat ukur 2 parameter disebutkan di atas dan berfungsi dengan baik (= akurat) maka auditor cukup mencatat data yang ditunjukkan oleh alat-alat ukur tersebut.

Hal penting untuk dilakukan juga adalah pengambilan contoh (*sample*) bahan bakar setelah selesai melakukan pengukuran-pengukuran. Bahan bakar di-*sampling* sekitar 1 liter untuk dilakukan analisis secara kimiawi, yakni proksimat (dan ultimat). Dari analisis ini antara lain akan diketahui persentase karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N) di dalam bahan bakar.

### D.2. Udara Pembakaran

Seperti halnya pada bahan bakar, pengukuran parameter udara pembakaran dilakukan pada titik menjelang masuk atau diumpankan ke diesel-generator. Parameter yang diukur meliputi: laju alir, temperatur, dan kelembaban nisbi.

### D.3. Udara di Permukaan Mesin

Temperatur dan kecepatan udara di permukaan mesin diukur.

### D.4. Gas Buang

Titik pengukuran untuk gas buang diusahakan tidak di ujung cerobong melainkan lebih mendekat ke arah mesin. Semakin dekat semakin baik. Hal ini untuk menghindari adanya kebocoran pada jalur atau pipa jalur gas buang. Dikhawatirkan udara luar terhisap masuk sehingga hasil pengukuran menjadi tidak layak.

Pengukuran meliputi kadar O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> (dalam persen), CO (dalam ppm), dan udara lebih (*excess air*) (dalam persen). Selain itu juga diukur temperatur gas buang (dalam °C).

### D.5. Air Pendingin

Pengukuran dilakukan pada titik masuk dan keluar mesin diesel. Pengukurannya meliputi: laju alir (dalam ton per jam) dan temperatur (dalam °C).

### D.6. Dinding Diesel Generator

Pengukuran temperatur (dalam °C) dilakukan pada permukaan dinding luar mesin diesel.

### D.7. Listrik yang Dihasilkan

Pengukuran dilakukan pada titik keluaran Generator. Parameter yang diukur meliputi: tegangan [Volt], arus [Ampere], daya [kVA atau kW], faktor daya, dan frekuensi [Hz].

## 5.4.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

### A. Data Sekunder yang Dibutuhkan

Beberapa data sekunder kemungkinan besar sudah tersedia pada Data Awal Informasi Industri pada saat kegiatan audit energi ini dipersiapkan. Namun demikian perlu dijelaskan bahwa untuk keperluan analisis pada audit energi ini diperlukan data sekunder yang meliputi:

- Jumlah dan spesifikasi masing-masing diesel-generator;
- Model atau pola operasi unit-unit diesel-generator tersebut di atas;
- Salinan catatan operasi (*logsheet* atau *logbook*) unit-unit diesel-generator selama 3 bulan terakhir;
- Dokumen perawatan atau modifikasi yang pernah dilakukan;



- Permasalahan-permasalahan yang sering muncul akhir-akhir ini;
- Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure* (SOP);
- Hasil uji kinerja (*performance test*) pada saat “komisioning” menjelang serah terima unit-unit diesel-generator.

## B. Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder umumnya dilakukan pada saat survei awal. Namun demikian pada saat pelaksanaan pengukuran (data primer) dapat juga sekaligus melengkapi kekurangan data sekunder.

Pengumpulannya juga dilakukan dengan pengamatan serta *interview* terhadap operator dan pihak manajemen pabrik, untuk memperoleh pola konsumsi energi yang lebih rinci serta menggali peluang-penghematan energi yang dapat dilakukan.

### 5.4.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setelah selesai melakukan pengamatan dan pengukuran pada sistem diesel-generator di *plant* maka auditor diharapkan bisa menyampaikan temuan-temuan sementara hasil audit lapangan.

Beberapa temuan yang didapatkan tersebut, antara lain berisi mengenai kondisi *best practice* yang telah berjalan di *plant*, titik fokus area yang terdapat potensi penghematan energi, evaluasi sesaat pola operasi dan pemeliharaan, dan kondisi eksisting kinerja peralatan yang ada.

## 5.5. ANALISIS

Tujuan pertama analisis ini adalah menghitung efisiensi diesel-generator pada saat dilakukan pengukuran. Harga efisiensi ini kemudian dibandingkan dengan kondisi desain atau hasil uji kinerja pada saat “komisioning”. Apabila efisiensi hasil audit energi ini jauh di bawah efisiensi hasil “komisioning” maka dianjurkan untuk dilakukan pemeriksaan dan perbaikan.

Tujuan kedua adalah untuk mendapatkan neraca energi sistem. Neraca energi ini memberikan banyak informasi yang sangat berguna untuk mencari alternatif-alternatif penghematannya.

Urutan analisisnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Perhitungan teoritis efisiensi mesin;
2. Perhitungan teoritis pembakaran;
3. Perhitungan Panas Terbuang;
4. Perhitungan Daya Keluaran Generator

### 5.5.1. Perhitungan Teoritis Efisiensi Mesin

Perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan uraian (teori) yang disampaikan pada Subbab 5.1.2. Dari perhitungan ini diperoleh efisiensi diesel ideal yang digunakan sebagai acuan batas atas efisiensi sistem.

### 5.5.2. Perhitungan Teoritis Pembakaran

Dari hasil analisis proksimat (dan ultimat) bahan bakar (umumnya adalah IDO atau *Industrial Diesel Oil*) dilakukan perhitungan, sebagai berikut:

Data yang diperlukan:

Kadar C, H, O, N, S, dan harga nilai kalori (HHV).

Perhitungan dengan dasar 100 kg bahan bakar.

Asumsi diambil pembakaran sempurna.

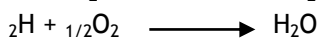
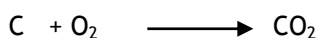
$$\text{mol C} = \% \text{ C} / 12$$

$$\text{mol H} = \% \text{ H}$$

$$\text{mol O} = \% \text{ O} / 16$$

$$\text{mol N} = \% \text{ N} / 14$$

$$\text{mol S} = \% \text{ S} / 32$$



Kebutuhan Oksigen stoikiometri adalah:

$$\text{mol O}_2 = \text{mol C} + 4 \text{ mol H} + \text{mol S} - \frac{1}{2} \text{ mol O}$$

Jumlah mol N<sub>2</sub> dalam udara :

$$\text{mol N}_{2 \text{ udara}} = \text{mol O}_2 \times 79/21$$

Jumlah udara pembakaran stoikiometri:

$$\text{mol Udara} = 100/21 \text{ mol O}_2$$

Komposisi gas buang adalah:

$$\text{mol CO}_2 = \text{mol C} ; \text{mol H}_2\text{O} = 2 \text{ mol H} ; \text{mol SO}_2 = \text{mol S}$$

$$\text{mol N}_{2 \text{ gas}} = \frac{1}{2} \text{ mol N} + \text{mol N}_2$$

Pada kenyataannya udara pembakaran mempunyai kandungan air dan jumlahnya lebih besar daripada kebutuhan udara pembakaran stoikiometri. Untuk itu perlu diperhitungkan sebagai berikut:

Diambil faktor udara lebih E % ( E >= 0 ).

Maka komposisi gas buang akan bertambah, yaitu kadar O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> sebesar:

$$\begin{aligned}\text{mol O}_2 \text{ lebih} &= E \% \times \text{mol O}_2 \text{ stoikiometri.} \\ \text{mol N}_2 \text{ gas lebih} &= \text{mol N}_2 \text{ gas} + \text{mol O}_2 \text{ lebih} \times 79/21\end{aligned}$$

Kebutuhan udara pembakaran nyata:

$$\begin{aligned}\text{mol O}_2 &= (1 + E\%) \times \text{mol O}_2 \text{ stoik.} \\ \text{mol Udara} &= \text{mol O}_2 \times 100/21\end{aligned}$$

Untuk udara basah, maka kadar air dalam gas buang harus ditambahkan dengan jumlah kandungannya dalam udara pembakar.

Komposisi gas buang dari hasil perhitungan ini sebagai dasar pemeriksaan kebenaran data pengukuran komposisi gas buang.

### 5.5.3. Perhitungan Panas Buang

Pada perhitungan ini akan dihitung panas terbang pada:

- Gas buang
- Air pendingin
- Badan mesin

Sedangkan panas masuk ke sistem berasal dari udara dan bahan bakar.

Untuk perhitungan ini diambil temperatur acuan T<sub>ref</sub> = 25 °C

#### A. Panas Masuk:

##### a) Bahan Bakar:

Data yang diperlukan: laju alir bahan bakar (= m<sub>bb</sub>)  
temperatur bahan bakar (= T<sub>bb</sub>)

Panas masuk ke sistem dari bahan bakar:

$$Q_{bb} = m_{bb} \times HHV$$

##### b) Udara Pembakaran

Data yang diperlukan: laju alir udara (m<sub>ud</sub>)  
temperatur udara masuk (T<sub>ud</sub>)

Dengan menggunakan *Psychrometric Chart*, maka entalpi udara masuk sistem dan entalpi udara pada T dapat diketahui.

Panas masuk ke sistem dari udara pembakaran:

$$Q_{ud} = m_{ud} \times (h_{ud} - h_{ref})$$

Panas masuk ke sistem:

$$Q_{in} = Q_{bb} + Q_{ud}$$

B. Panas Keluar:

Rugi-rugi panas:

a) Pendinginan Air

Data-yang diperlukan: laju alir air pendingin (=  $m_a$ )

temperatur air masuk (=  $T_{ia}$ )

temperatur air keluar (=  $T_{oa}$ )

Panas terbawa air pendingin:

$$Q_a = \int_{T_{ia}}^{T_{oa}} m_a \times C_p \times dT$$

Bila di dalam sistem terdapat sistem pendinginan mesin yang terpisah dengan sistem pendingin minyak lubasnya, maka diperlukan pengukuran masing-masing sistem. Sehingga ada lebih dari satu perhitungan panas terbawa air pendingin dengan cara yang sama.

b) Pendinginan Udara

Walaupun diesel-generator menggunakan pendinginan air, tetapi udara sekeliling tetap juga mengambil panas dari badan mesin. Untuk itu perlu diperhitungkan besarnya panas terbuang melalui udara ini.

Data yang diperlukan: temperatur permukaan badan mesin (=  $T_w$ )

kecepatan angin sekitar mesin (=  $V_a$ )

luas permukaan badan mesin yang terbuka (=  $A$ )

Perpindahan panas yang terjadi biasanya secara konveksi bebas. Untuk itu koefisien perpindahan panasnya ( $h$ ) dipehitungkan untuk udara dengan kondisi:  $T_{bulk} = (T_w + T_{ref})/2$ .

Panas terbuang:

$$Q_{ud} = h \times A \times T$$

Harga  $h = 5 - 25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  pada kecepatan angin 0 -5 m/det.

Melalui lampiran dapat dilihat berbagai macam harga  $h$  pada kondisi yang belainan.

c) Gas Buang

Sebagai dasar perhitungan rugi-rugi gas buang dipakai persamaan:

$$Q_{gb} = \int_{T_{ref}}^{T_g} m_i \times C_{pi} \times dT_i$$

Keterangan:

$m_i$  = laju alir komponen gas buang ke i

$C_{pi}$  = kapasitas panas komponen gas buang ke i

$T_g$  = temperatur gas buang

#### 5.5.4. Perhitungan Daya Keluaran (*Output*) Generator

Panas keluaran listrik (daya listrik):

$$Q_{el} = 3 \times V \times I \times \cos \Phi$$

Keterangan:

$Q_{el}$  = daya (keluaran) listrik, [Watt]

$V$  = tegangan keluaran generator, [Volt]

$I$  = arus keluaran generator, [Ampere]

$\cos \Phi$  = faktor daya

Dari perhitungan (neraca energi) tersebut di atas dapat diketahui efisiensi sistem diesel-generator, sebagai berikut:

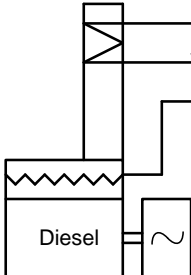
Neraca Energi:

$$Q_{bb} + Q_{ud} = Q_a + Q_{lud} + Q_{gb} + Q_e + Q_{tak \text{ terhitung}}$$

Efisiensi sistem:

$$Efisiensi = \frac{Q_e}{Q_{bb} + Q_{ud}}$$

Sebagai acuan hasil neraca energi untuk generator Diesel sebagai berikut:

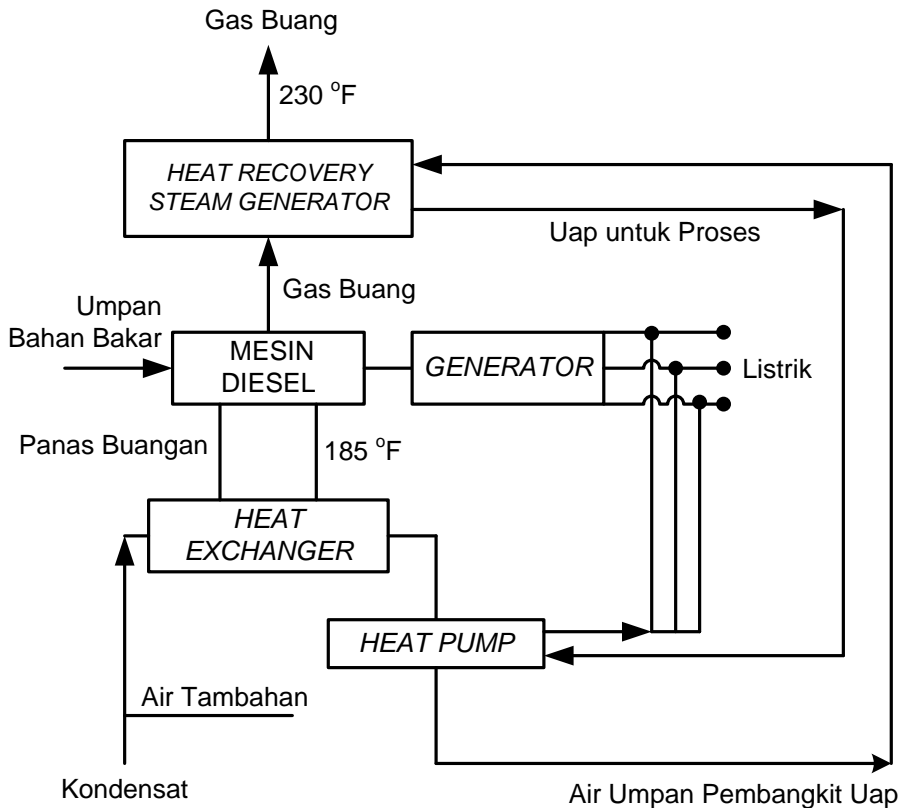
Range of Generating Efficiencies Heat to Power Ratio	Prime Mover System and Fuel	Generating Efficiencies		Heat/ Power Ratio kJ/kW	Heat Available at oC
		Generation alone	Total Energy		
<div>System Losses</div> <div>Exhaust Heat</div> <div>20 to 30%</div> <div>Steam13%</div> <div>Hot Water 3%</div> <div></div> <div>Recipro cating Engine</div> <div>Natural gas</div> <div>Clean Fuel Gils</div> <div>13%</div> <div>To</div> <div>40%</div> <div>55% To</div> <div>70%</div> <div>0.3 : 1 Ti</div> <div>0.7 to 1</div> <div>Jacket 80%</div> <div>Exhaust 400 °C</div>					

Apabila hasil audit energi yang dilakukan menunjukkan penyimpangan dari tabel tersebut sebaiknya dilakukan pemeriksaan kondisi mesin.

Dalam hal diesel-generator berdekatan dengan instalasi boiler maupun instalasi yang dapat menggunakan panas buang dari diesel, maka akan diperoleh penambahan efisiensi sampai sebesar 16% apabila air pendingin digunakan sebagai preheater dari air umpan (*feedwater*) boiler.

Pada penggunaan panas terbuang ini tidak diperlukan investasi peralatan tambahan yang besar, terutama pada pemanfaatan panas dari air pendingin. Khusus pada pemanfaatan gas buang diperlukan perencanaan rinci/detail dari alat penukar panasnya.

Secara skematis penggunaan panas terbuang dapat dilihat pada Gambar 5-9.



Gambar 5-9. Kogenerasi mesin diesel.

### Contoh Perhitungan

Guna melengkapi uraian 4 butir analisis tersebut di atas berikut disampaikan pula satu contoh perhitungan panas buang melalui air pendingin.

Pada contoh berikut ditunjukkan diagram neraca energi (Gambar 5-10) sebuah mesin diesel 2.700 kVA pada kondisi standar.

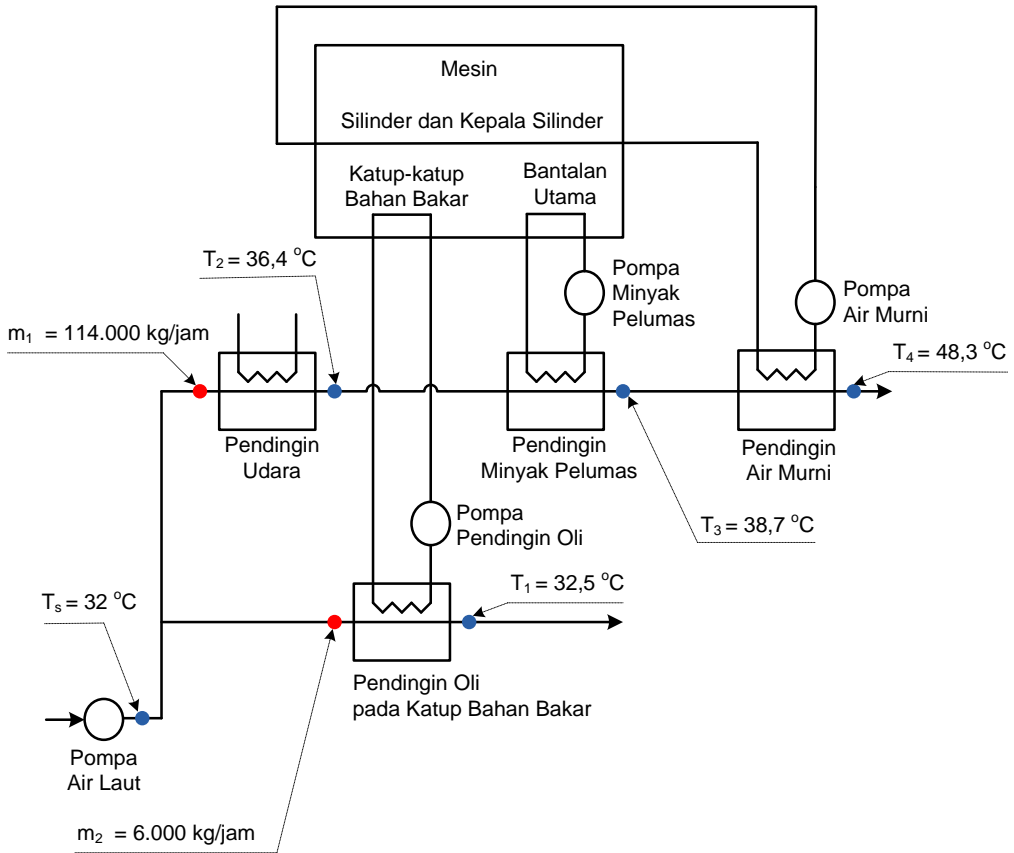
Langkah pertama yang dilakukan adalah menginventarisasi panas masuk dan keluar sistem.

Kemudian dicari kemungkinan paling mudah untuk dilakukan pengukuran dengan maupun tanpa alat ukur tambahan.

Ditinjau dari diagram di atas maka mesin diesel ini mempunyai sistem pendinginan yang terpisah menjadi 3 bagian, yaitu:

- Pendingin air untuk katup-katup
- Pendingin air untuk bantalan-bantalan
- Pendingin untuk silinder dan kepala silinder

Di samping itu ada unit pendingin udara setelah *turb-ocharger* yang didinginkan air. Pendingin utama dipakai air laut.



Gambar 5-10. Diagram neraca energi mesin diesel 2.700 kVA.

Proses pengukuran dilakukan, sebagai berikut:

a) Laju Alir

Diukur dengan 2 unit *flowmeter* yang dipasang pada jalur masuk Pendingin Udara (=  $m_1$ ) dan *Fuel Valve Cooling Oil Cooler* (=  $m_2$ ).

b) Temperatur

Lima unit termokopel (Pt-100) dipasangkan pada:

$T_s$  = Temperatur air pada keluaran pompa air laut.

$T_1$  = Temperatur air keluar Pendingin Oli (Pendingin Katup Bahan Bakar).

$T_2$  = Temperatur air keluar Pendingin Udara.

$T_3$  = Temperatur air keluar Pendingin Minyak Pelumas.

$T_4$  = Temperatur air keluar Pendingin Air Murni.



Perhitungan panas terbuang pada masing-masing komponen berdasar gambar di atas.

**Pendinginan oli pada katup bahan bakar:**

$$\begin{aligned} Q_1 &= m_2 \times C_p \times (T_1 - T_s) \\ &= 6.000 \text{ kg/jam} \times 4,18 \text{ kJ/kg C} \times (32,5^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}) \\ &= 12.540 \text{ kJ/jam} \\ &= 3,48 \text{ kW} \end{aligned}$$

**Pendingin Udara:**

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_1 \times C_p \times (T_2 - T_s) \\ &= 114.000 \text{ kg/jam} \times 4,18 \text{ kJ/kg C} \times (36,4^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}) \\ &= 2.096.688 \text{ kJ/jam} \\ &= 582 \text{ kW} \end{aligned}$$

**Pendingin Minyak Lumas:**

$$\begin{aligned} Q_3 &= m_1 \times C_p \times (T_3 - T_2) \\ &= 114.000 \text{ kg/jam} \times 4,18 \text{ kJ/kg C} \times (38,7^\circ\text{C} - 36,4^\circ\text{C}) \\ &= 1.095.996 \text{ kJ/jam} \\ &= 304,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

**Pendingin Air Murni:**

$$\begin{aligned} Q_4 &= m_1 \times C_p \times (T_4 - T_3) \\ &= 114.000 \text{ kg/jam} \times 4,18 \text{ kJ/kg C} \times (48,3^\circ\text{C} - 38,7^\circ\text{C}) \\ &= 4.574.592 \text{ kJ/jam} \\ &= 1270,7 \text{ kW} \end{aligned}$$

**Total panas terbuang ke pendingin:**

$$Q = 2160,6 \text{ kW}$$

Pada perhitungan ini terlihat bahwa panas terbuang melewati sistem pendingin mesin hampir 80% dari energi listrik *output*.

Untuk memanfaatkan panas terbuang di atas dapat dilakukan dengan sistem kogenerasi, yaitu air pendingin yang digunakan merupakan *feed water* diesel-generator sehingga beban diesel-generator akan lebih kecil. Hal ini sangat menguntungkan pada diesel-generator yang bekerja dengan sistem terbuka (*open loop system*). Secara keseluruhan (kombinasi diesel-diesel-generator) dapat menghemat konsumsi bahan bakar.

Pengukuran di atas sebaiknya dilakukan dengan lengkap karena dengan data yang lengkap tersebut dapat diperoleh:

- Diagram neraca energi memungkinkan untuk mempelajari efisiensi termal dan kinerja secara keseluruhan dan pada masing-masing pendingin;
- Diagram di atas dapat digunakan untuk menentukan jadwal perbaikan masing-masing mesin;
- Dapat diketahui adanya perubahan efisiensi karena kondisi lingkungan dan umur mesin, hal ini perlu dilakukan secara periodik.

Dalam hal audit tingkat awal pengukuran secara lengkap di atas belum diperlukan. Akan tetapi cukup dilakukan pengukuran temperatur air pendingin masuk dan keluar mesin saja, di mana panas total terbuang. Ke sistem pendingin sudah dapat diketahui.

Pada kondisi lapangan yang sebenarnya seringkali dijumpai kesulitan pada penentuan titik-titik pengukuran dikarenakan tidak tersedianya fasilitas pengukuran tersebut. Untuk ini diperlukan pembuatan titik-titik pengukuran yang sesuai dengan alat ukur yang digunakan. Dalam hal mengukur laju alir pekerjaan ini sangat sederhana apabila dipakai alat ukur yang ultrasonik dengan tidak harus mengganggu operasi mesin.

## **5.6. PENYUSUNAN LAPORAN**

Penyusunan laporan audit energi pada sistem diesel-generator bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem diesel-generator merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem diesel-generator yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem diesel-generatornya saja yang diaudit.

### **5.6.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci**

Dalam buku ini audit energi pada sistem diesel-generator merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 5-11. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 5-12.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 5-11) adalah urutan bab pada sistem diesel-generator. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem diesel-generator berada pada urutan ke-5, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 5 atau V. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 5 atau Bab V Sistem Diesel-generator.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan meliputi:

a. Deskripsi atau Tinjauan Sistem Diesel-generator

Di sini diuraikan hal-hal mengenai sistem diesel-generator di pabrik tersebut, mulai dari sisi bahan bakar hingga listrik yang dihasilkan, dilanjutkan dengan jaringan distribusinya, hingga sisi “konsumen” yakni peralatan (utama) yang mengkonsumsi listrik. Selain itu juga status konsumsi bahan bakar pada saat ini, dan beberapa lainnya.

b. Lingkup Audit Energi pada Sistem Diesel-generator

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

c. Peralatan Audit Energi

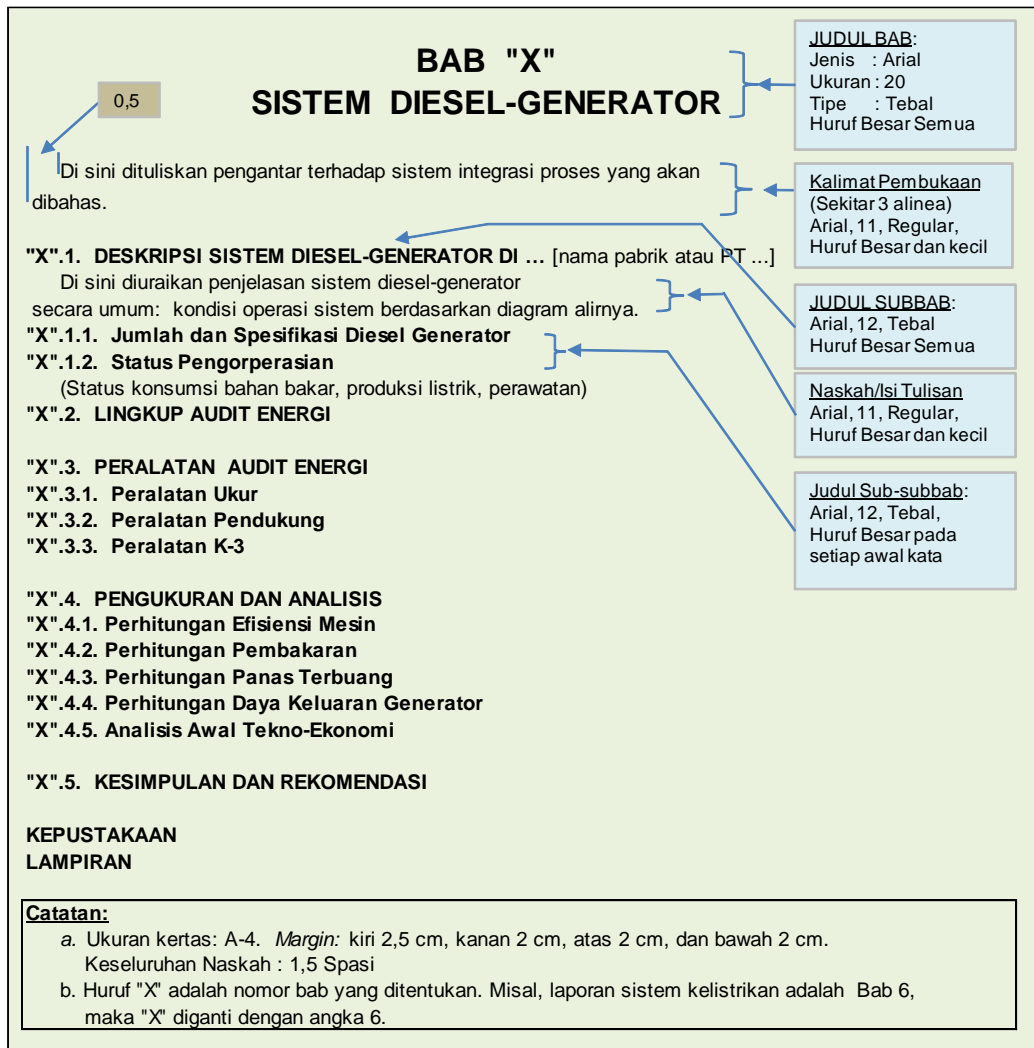
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan dalam melakukan audit energi, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.

d. Pengukuran dan Analisis

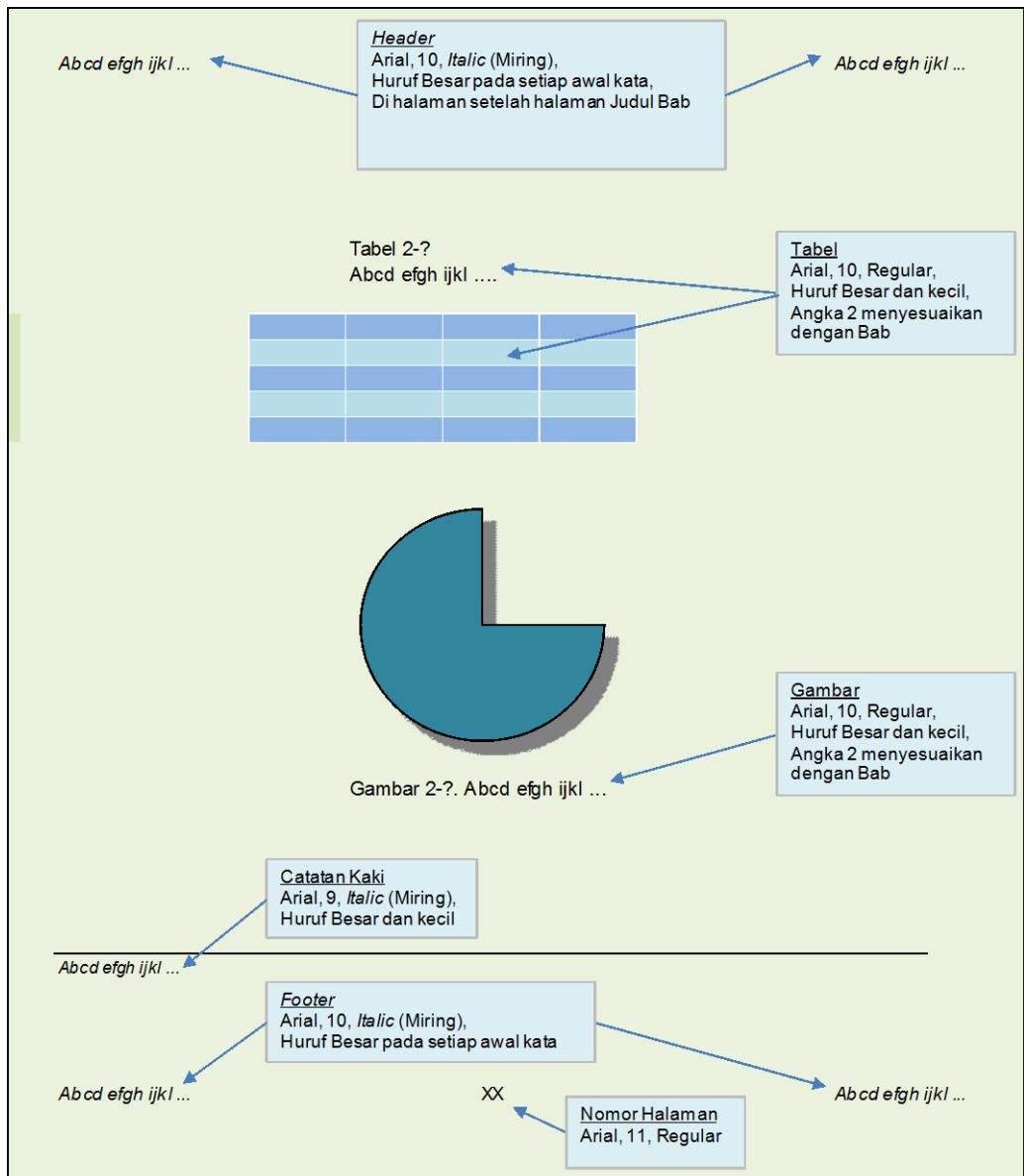
Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam analisis adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya. Bila dipandang perlu, dilengkapi pula dengan analisis awal tekno ekonomi.

e. Kesimpulan dan Rekomendasi

Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 5-11. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem diesel-generator yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.



Gambar 5-12. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

### 5.6.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Diesel-Generator

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem diesel-generatornya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan “tunggal”, yang hanya mengulas ikhwal sistem diesel-generator, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran,

analisis, hingga kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 5-13.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.1 Identitas Perusahaan		
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
<b>BAB 2 DESKRIPSI SISTEM DIESEL-GENERATOR</b>		
2.1 Jumlah dan Spesifikasi Diesel-Generator		
2.2 Status Pengoperasian		
<b>BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI</b>		
<b>BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI</b>		
4.1 Peralatan Ukur		
4.2 Peralatan Pendukung		
4.3 Peralatan K-3		
<b>BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>		
5.1 Perhitungan Efisiensi Mesin		
5.2 Perhitungan Pembakaran		
5.3 Perhitungan Panas Terbuang		
5.4 Perhitungan Daya Keluaran Generator		
5.5 Analisis Awal Tekno Ekonomi		
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

<p><b>Catatan:</b></p> <p>a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin:</i> kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi</p> <p>b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.</p> <p>c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.</p>
--

Gambar 5-13. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem diesel-generator di industri.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

a. Kata Pengantar

Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.

b. Ringkasan Eksekutif

Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.

c. Pendahuluan

Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.

d. Deskripsi Sistem Diesel-generator

Uraianya dapat melihat butir a pada Subbab 5.6.1.

e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Diesel-generator

Uraianya dapat melihat butir b pada Subbab 5.6.1.

f. Peralatan Audit Energi

Uraianya dapat melihat butir c pada Subbab 5.6.1.

g. Pengukuran dan Analisis

Uraianya dapat melihat butir d pada Subbab 5.6.1.

h. Kesimpulan dan Rekomendasi


Uraianya dapat melihat butir e pada Subbab 5.6.1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, Edwin P., Revised by Charles G. Facklam. 1985. *Gas Engine Manual*. Third Edition. G.K. Hall & Co.
- [2] Cengel, Yunus A. dan Michael A. Boles. 1989. *Thermodynamics an Engineering Approach*. McGraw-Hill, Inc.
- [3] Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer*. Six Edition. McGraw-Hill, Inc.
- [4] Obert, Edward F. 1973. *Internal Combustion Engine and Air Polution*. Third Edition. Harper & Row , Publishers, Inc.
- [5] OTA Reports, *New Electric Power Technologies, Problems and Prospects for the 1990s*.
- [6] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [7] RCG/Hagler, Bailly, Inc. 1988. *Energy Auditing Manual for Industries*. Volume 3. 370 L’Enfant Promenade, SW, Suite 700, Washington.

## AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM DISTRIBUSI UAP

Enny Rosmawar Purba  
Hariyanto

 *Cost reduction* atau pengurangan/penurunan biaya pada komponen energi dari sisi penggunaan uap (*steam*) di industri pada umumnya sangat potensial untuk dilakukan. Bagi industri yang mengandalkan energi uap - di samping energi listrik - dalam proses produksinya maka penurunan konsumsi uap untuk tingkat produksi yang sama akan sangat diminati.

Penurunan konsumsi uap berarti penurunan konsumsi bahan bakar serta hal-hal terkait lainnya yang langsung dapat dikonversikan ke dalam rupiah. Dengan demikian terjadi penurunan (= penghematan) biaya energi. Manfaat lainnya, penurunan emisi gas (buang) serta kemungkinan memperpanjang umur peralatan.

Uraian di atas khususnya berlaku bagi industri yang dalam memproduksi uapnya menggunakan bahan bakar - baik padat, cair, atau gas - berasal dari membeli. Terdapat “sedikit” perbedaan dengan industri yang bahan bakarnya “tidak membeli”, misalnya di pabrik gula yang mengolah tebu menjadi gula pasir. Di pabrik ini (secara desain) bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi uap adalah ampas tebu. Bahan baku batang-batang tebu setelah diperas untuk diambil niranya dan diproses lanjut hingga menghasilkan gula pasir, ampas tebunya digunakan sebagai bahan bakar di boiler. Dengan begitu, pabrik gula dapat dikatakan “tidak membeli” bahan bakar.

Sekalipun demikian, penurunan konsumsi uap di pabrik gula tetap merupakan hal yang penting. Selain hal terpenting rendemen tebu, konsumsi uap spesifik merupakan tolak ukur penting dalam penilaian efisiensi.

Penurunan konsumsi uap sebesar 0,1 ton uap per ton tebu (= 10 persen) untuk tingkat produksi yang sama akan berkorelasi dengan penurunan konsumsi uap sebanyak puluhan hingga ratusan ton per hari.

Misalnya, konsumsi uap sebelumnya 0,55 ton uap per ton tebu (= 55 persen) akan diturunkan menjadi 0,45. Dengan kapasitas giling tebu 6.000 ton tebu per hari, maka ini berarti konsumsi uap sebelumnya (0,55 x 6.000 ton) atau 3.300 ton per hari diturunkan menjadi (0,45 x 6.000 ton) atau 2.700 ton per hari. Atau dengan kata lain, konsumsi uapnya turun sebesar (3.300 ton - 2.700 ton) atau 600 ton per hari. Dengan total hari giling selama 210 hari atau 7 bulan, misalnya, maka terjadi penghematan uap sebesar (210 hari x 600 ton/hari) atau 126.000 ton. Jumlah ini selanjutnya disetarakan dengan penghematan pemakaian bahan bakar ampas tebu.

Dikarenakan penggunaan bahan bakarnya menurun maka akan terjadi surplus bahan bakar pada saat produksi gula atau musim giling berakhir.

Surplus atau kelebihan bahan bakar ini akan lebih baik bila dikonversikan menjadi hal yang “berbeda”, tidak semata-mata langsung dikonversi menjadi rupiah. Dengan terjadinya surplus ampas tebu, maka kebutuhan bahan bakar pabrik gula dalam memulai produksinya pada musim giling berikutnya akan aman. Kemudian, pabrik gula juga berpeluang untuk menambah aktivitasnya di luar musim giling, yakni membangkitkan listrik dalam rangka ikut serta memperkuat kemampuan negara kita dalam menyediakan tenaga listrik bagi masyarakat, bekerjasama dengan PT PLN (Persero).

Sekilas gambaran di atas menunjukkan bahwa penghematan dalam pemakaian uap di industri sangat menarik. Berdasarkan hal itu maka dalam melaksanakan audit energi di industri tinjauan atau kajian di bidang sistem distribusi uap merupakan hal yang penting dan menarik untuk dilaksanakan.

## 6.1. TINJAUAN SISTEM DISTRIBUSI UAP

### 6.1.1. Sistem Uap

Uap sudah sejak lama digunakan sebagai media pembawa panas di industri. Uap digunakan untuk pembangkit listrik dan juga digunakan dalam proses industri. Industri yang dikategorikan sebagai pengguna uap skala besar adalah:

- Petrokimia
- Kilang Minyak
- Produk Hutan (*Pulp* dan kertas)
- Makanan dan minuman
- Gula
- Plastik
- Karet
- Tekstil
- Farmasi
- Manufaktur Perakitan

Beberapa alasan penggunaan uap sebagai media pemanas di antaranya adalah:

- Uap lebih efisien dan ekonomis untuk pembangkitan
- Uap mudah didistribusikan sampai ke titik penggunaan



- Uap mudah dikendalikan
- Energi mudah dipindahkan (di-*transfer*) ke proses
- Pembangkit uap modern mudah dikelola
- Uap bersifat fleksibel

Alternatif lain selain uap adalah air dan cairan panas seperti minyak bersuhu tinggi. Masing-masing media memiliki kelebihan dan kekurangan seperti ditunjukkan pada Tabel 6-1.

Tabel 6-1  
Perbandingan media pemanasan dengan uap

UAP	AIR PANAS	MINYAK BERSUHU TINGGI
Kandungan kalor tinggi Panas laten sekitar 2100 kJ/kg	Kandungan kalor sedang Panas jenis 4,19 kJ/kg°C	Kandungan kalor rendah Panas jenis 1,69 - 2,93 kJ/kg°C
Murah Ada biaya pengolahan air	Murah Hanya sesekali pemberian dosis	Mahal
Koefisien perpindahan panas bagus	Koefisien perpindahan panas sedang	Koefisien perpindahan panas relatif rendah
Tekanan tinggi diperlukan untuk mendapatkan suhu tinggi	Tekanan tinggi diperlukan untuk mendapatkan suhu tinggi	Hanya membutuhkan tekanan rendah untuk mendapatkan suhu tinggi
Tidak ada pompa sirkulasi dibutuhkan pipa kecil	pompa sirkulasi dibutuhkan pipa besar	pompa sirkulasi dibutuhkan pipa bahkan besar
Mudah untuk mengontrol dengan dua arah <i>valve</i>	Lebih kompleks untuk pengendalian - tiga arah <i>valve</i> atau <i>differential pressure valves</i> mungkin diperlukan	Lebih kompleks untuk pengendalian - tiga arah <i>valve</i> atau <i>differential pressure valves</i> mungkin diperlukan
Penurunan temperatur dapat dilakukan dengan mudah melalui <i>reducing valve</i>	Penurunan temperatur lebih sulit dilakukan	Penurunan temperatur lebih sulit dilakukan
Memerlukan <i>Steam traps</i>	Tidak memerlukan <i>Steam traps</i>	Tidak memerlukan <i>Steam traps</i>
Memerlukan penanganan kondensat	Tidak memerlukan penanganan kondensat	Tidak memerlukan penanganan kondensat
<i>Flash steam</i> tersedia	Tidak ada <i>flash steam</i>	Tidak ada <i>flash steam</i>
Diperlukan <i>blowdown</i> pada boiler	Tidak ada <i>blowdown</i>	Tidak ada <i>blowdown</i>
Memerlukan <i>water treatment</i> untuk mencegah korosi Memerlukan pipa yang sesuai	Kurang korosif  Menggunakan pipa las dan sambungan <i>flange</i>	Korosi dapat diabaikan  Menggunakan pipa las dan sambungan <i>flange</i>
Tidak ada resiko kebakaran	Tidak ada resiko kebakaran	Resiko kebakaran
Sistem sangat fleksibel	Sistem kurang fleksibel	Sistem tidak fleksibel

### 6.1.2. Termodinamika Uap

Tiga kondisi termodinamika dasar air, yaitu *subcooled*, jenuh (*saturated*), dan lewat jenuh (*superheated*). Masing-masing kondisi tersebut didefinisikan sebagai berikut:

a. *Subcooled*

Air dalam bentuk cair dan suhu lebih rendah dari suhu jenuh (pada tekanan tertentu). Kandungan energi air *subcooled* berbanding lurus dengan suhu.

b. Jenuh (*Saturated*)

Ketika air kondisi *subcooled* dipanaskan mencapai suhu jenuhnya. Keadaan ini disebut cairan jenuh (air). Menambahkan lebih banyak kalor menyebabkan perubahan keadaan dari cair ke uap tanpa perubahan suhu. Perubahan fase terus sampai semuanya menjadi uap. Kondisi ini sekarang disebut uap jenuh (*steam*). Kandungan energi dari kondisi jenuh merupakan fungsi dari temperatur (atau tekanan) dan kualitas (jumlah uap dalam campuran 2-fase).

c. Lewat Jenuh (*Superheated*)

Peningkatan lebih lanjut dengan menambahkan kalor kepada uap jenuh menyebabkan peningkatan suhu uap di luar titik jenuh. Ini adalah keadaan uap lewat jenuh (*superheated*). Kandungan energi uap *superheated* sebanding dengan suhu dan tekanan

#### 6.1.2.1. Entalpi

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi dari suatu sistem termodinamika. Perubahan entalpi seringkali sama dengan energi panas yang diserap atau dikeluarkan oleh sistem. Entalpi dinyatakan dalam bentuk energi per massa. Dalam satuan SI, energi mempunyai satuan joule (J) dan massa mempunyai satuan kilogram (kg), sehingga satuan entalpi adalah J/kg. Satuan entalpi lain adalah Btu/lbm dan cal/gr. Konversi satuan entalpi adalah sebagai berikut:

$$1 \text{ cal/gr} = 4148 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Btu/lbm} = 2326 \text{ J/kg}$$

#### 6.1.2.2. Kualitas Uap

Uap harus tersedia pada titik penggunaan:

- Dalam jumlah yang tepat untuk menjamin bahwa aliran panas yang disediakan cukup untuk perpindahan panas;
- Pada suhu dan tekanan yang benar, karena akan mempengaruhi kinerja;
- Bebas dari udara dan gas *incondensable* yang berperan sebagai penghalang pada proses perpindahan panas;

- Bersih, seperti kerak (misalnya karat atau deposit karbonat) atau kotoran yang berefek pada peningkatan laju erosi di *pipe bends* dan *orifice* kecil dari *steam traps* dan *valve*;
- Kering, adanya tetesan air dalam uap mengurangi entalpi aktual penguapan, dan juga menyebabkan pada pembentukan kerak pada dinding pipa dan permukaan perpindahan panas.

### 6.1.2.3. Tekanan Uap

Secara umum, ada tiga tingkat pengukuran dengan berbagai peralatan pengukuran, tergantung pada aplikasi:

- Tekanan rendah (tekanan < 250 Pa) - Aliran melalui *duct*, *furnace/oven*, atau *draft through a burner*. Peralatan pengukuran yang sesuai adalah *inclined manometer* atau manometer digital;
- Tekanan Menengah (tekanan < 7 kPa) - Udara pembakaran dan aliran bahan bakar gas. Peralatan pengukuran yang sesuai adalah manometer cair atau manometer digital.
- Tekanan Tinggi (tekanan > 7 kPa) - Uap, bahan bakar minyak, dan udara tekan. Pengukuran tekanan untuk tekanan yang lebih tinggi memerlukan penggunaan alat ukur *accurate calibrated gauges* atau *pressure transducer*.

### 6.1.3. Distribusi Uap

Distribusi uap sangat penting karena berfungsi sebagai saluran untuk memindahkan uap dari pembangkitan uap ke pengguna akhir uap. Beberapa sistem uap di industri memiliki jaringan distribusi uap yang sangat sederhana. Tetapi pada kebanyakan industri, uap didistribusikan melalui jaringan *header*. Uap yang dihasilkan pada tekanan tinggi dan kemudian mungkin tekanan dikurangi untuk memasok *header* tekanan uap yang berbeda.

Dalam beberapa kasus, sistem distribusi uap hanya menggunakan *header* tekanan tunggal dan uap tekanan rendah. Harus dicatat bahwa uap tidak memerlukan alat mekanis (kompresor, pompa, dan lain-lain) untuk mendistribusikan ke *header*. Tekanan uap berfungsi sebagai kekuatan pendorong untuk mendistribusikan uap. Tekanan distribusi uap dipengaruhi oleh sejumlah faktor, tetapi dibatasi oleh:

- Tekanan kerja maksimum yang aman dari boiler; dan
- Tekanan minimum yang diperlukan di pabrik tersebut.

Uap yang melewati pipa distribusi, akan mengalami kehilangan tekanan karena:

- Resistensi friksional dalam pipa tersebut
- Kondensasi dalam pipa ketika panas dipindahkan ke lingkungan.

Oleh karena itu penentuan tekanan awal distribusi harus ditentukan sedemikian rupa sehingga kehilangan tekanan ini tidak mempengaruhi di titik pengguna.

Komponen yang paling penting dari sebuah sistem distribusi uap adalah:

- *Steam Trap*
- Sistem *Condensate Recovery*
- Isolasi Pipa
- Katup Pengurang Tekanan (*Let-Down*)
- Tangki *Flash*

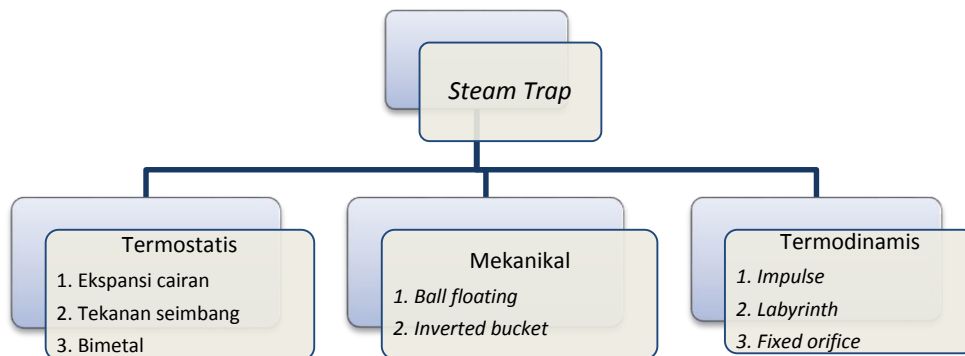
#### 6.1.3.1. *Steam Trap*

Kualitas uap (*steam*) merupakan faktor yang sangat penting di dalam industri. Salah satu peralatan dalam sistem distribusi uap yang memegang peranan dalam usaha konservasi energi adalah *steam trap*. Ada tiga fungsi utama *steam trap*, yaitu:

- Untuk menghilangkan kondensat yang terbentuk;
- Menghambat arus balik *steam*;
- Menghilangkan udara dan gas lainnya yang tidak terkondensasi.

Ada tiga tipe dasar *steam trap*. Ketiganya diklasifikasikan oleh Standar Internasional ISO 6704: 1982 - seperti ditunjukkan pada Gambar 6-1 – mencakup:

- Termostatis (dioperasikan oleh perubahan suhu fluida). Suhu uap jenuh ditentukan oleh tekanannya. Dalam ruang uap, uap menyerap entalpi penguapan (panas), menghasilkan kondensat pada temperatur uap. Sebagai akibat dari kehilangan panas lebih lanjut, temperatur kondensat akan jatuh. Sebuah perangkat termostatik akan melewati kondensat ketika suhu yang lebih rendah ini dirasakan. Sebagian uap mencapai *trap*, suhu meningkat, dan perangkat menutup.
- Mekanikal (dioperasikan oleh perubahan densitas fluida). Rentang *steam trap* beroperasi dengan mendeteksi perbedaan densitas antara uap dan kondensat. *Steam trap* ini termasuk '*ball float traps*' dan '*inverted bucket traps*'. Dalam '*ball float traps*', bola naik dengan adanya kondensat, membuka katup, yang melewati kondensat yang lebih padat. Dengan '*inverted bucket traps*', ember terbalik mengapung ketika uap mencapai perangkat dan naik untuk menutup katup. Keduanya pada dasarnya beroperasi dengan metode mekanis.
- Termodinamis (dioperasikan oleh perubahan dinamika fluida). *Steam trap* termodinamika bergantung sebagian pada pembentukan *flash steam* dari kondensat. Kelompok ini mencakup '*thermodynamic*', '*disc*', '*impulse*', dan '*labyrinth steam traps*'.



Gambar 6-1. Jenis-jenis *steam trap*.

Tiga jenis utama *steam trap* tersebut fungsi dan prinsip operasinya harus dipahami oleh insinyur desain, bagian operasi pabrik, dan tim pemeliharaan. Semua industri harus memiliki program manajemen *steam trap* yang efektif. Meskipun kegagalan *steam trap* terkadang tidak selalu mengakibatkan hilangnya energi yang besar, tetapi akan selalu mengakibatkan masalah sistem operasi dan masalah reliabilitas. Ukuran yang tidak tepat dan aplikasi yang tidak benar adalah penyebab paling umum dari kegagalan *steam trap* di industri.

Tabel 6-2 memberikan contoh pemilihan *steam trap* yang tepat untuk berbagai aplikasi pada sistem distribusi uap di Industri, mulai dari jalur distribusi uap utama (*header uap*) sampai dengan peralatan pengguna uap. Dengan pemilihan *steam trap* yang tepat maka akan mengurangi resiko kegagalan sistem distribusi uap.

Tabel 6-2  
Pemilihan *Steam Trap*

Pemilihan Steam Trap		
Aplikasi pada	Fitur	Tipe <i>Trap</i> yang cocok
Distribusi Uap Utama	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terbuka ke atmosfer, kapasitas kecil</li> <li>- Perubahan tekanan yang sering</li> <li>- Tekanan rendah - tekanan tinggi</li> </ul>	Termodinamis
Peralatan <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Reboiler</i></li> <li>▪ <i>Heater</i></li> <li>▪ <i>Dryer</i></li> <li>▪ <i>Heat exchanger</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kapasitas besar</li> <li>- Variasi tekanan dan suhu tidak diharapkan</li> </ul>	<i>Mechanical trap, Bucket, Inverted bucket, float</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Tracer line</i></li> <li>▪ Instrumentasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk <i>overheating steam</i></li> <li>- Tahan terhadap <i>water hammer</i></li> </ul>	Termodinamis dan Bimetal

### 6.1.3.2. Pemanfaatan Kembali Kondensat (*Condensate Recovery*)

Beberapa alasan untuk pemanfaatan kembali kondensat meliputi:

- Alasan Finansial. Kondensat merupakan sumber daya berharga dan bahkan *recovery* dalam jumlah kecil sering dibenarkan secara ekonomi. Pembuangan dari *steam trap* tunggal layak di-*recovery*. *Unrecovery Condensate* harus diganti di sistem boiler oleh penambahan air baru (*make-up water*) dengan biaya tambahan pengolahan air dan bahan bakar untuk memanaskan air dari suhu yang lebih rendah;
- Biaya Air. Setiap kondensat yang tidak dikembalikan perlu diganti dengan *make-up water*, ini menyebabkan biaya tambahan air dari penyedia air setempat;
- Pembatasan Limbah. Di Inggris misalnya, air di atas 43 °C tidak dapat dikembalikan ke saluran pembuangan umum, karena merusak lingkungan. Kondensat di atas suhu ini harus didinginkan sebelum dibuang, yang dapat menimbulkan biaya energi ekstra. Pembatasan serupa berlaku di beberapa negara lain;
- Memaksimalkan Keluaran Boiler. Air umpan boiler yang lebih dingin akan mengurangi laju pembentukan uap di boiler. Suhu air umpan yang rendah menyebabkan kebutuhan panas untuk memanaskan air lebih besar, sehingga bahan bakar yang digunakan akan lebih banyak;
- Kualitas Air Umpan Boiler. Kondensat adalah air destilasi, yang hampir tidak mengandung padatan terlarut (TDS). Boiler memerlukan *blowdown* untuk mengurangi konsentrasi padatan terlarut dalam air boiler. Kondensat yang dikembalikan ke *feed tank* akan mengurangi *blowdown* sehingga akan mengurangi energi yang hilang dari boiler.

Komponen utama pada sistem *recovery* kondensat adalah:

- *Steam Traps*
- *Condensate piping and fittings*
- *Flash tanks*
- *Receivers*
- *Pumps*
- *Lift stations*
- *Polishers and filters*

### 6.1.3.3. Isolasi Pipa Uap dan Peralatan Proses

Isolator termal adalah material yang mempunyai konduktivitas termal yang rendah. Isolasi berfungsi untuk mencegah terjadinya perpindahan panas sehingga mengurangi kerugian kehilangan panas. Isolasi ini sangat efektif penggunaannya dalam berbagai aplikasi, seperti pada: sistem perpipaan, tangki penyimpanan, tungku (*furnace*), boiler, dan lain-lain.

Isolator termal, dengan mengurangi kehilangan panas, memberikan manfaat sebagai berikut:

- Mengurangi konsumsi bahan bakar;
- Proses kontrol yang lebih baik dengan menjaga suhu proses pada tingkat yang konstan;
- Pencegahan korosi dengan menjaga permukaan terpapar dari sistem berpendingin di atas titik embun;
- Perlindungan kebakaran pada peralatan;
- Meredam getaran.

Isolator dapat diklasifikasikan berdasarkan tiga rentang suhu yang biasa digunakan:

- Isolator Suhu Rendah (sampai dengan 90 °C), yang digunakan untuk lemari es, sistem air dingin dan panas, tangki penyimpanan, dan lain-lain. Bahan yang paling umum digunakan adalah gabus, kayu, 85 persen magnesium, serat mineral, poliuretan, dan *expanded polystyrene*;
- Isolator Suhu Menengah (90 - 325 °C), yang digunakan dalam pemanasan suhu rendah dan peralatan pembangkit uap, jalur uap, cerobong, dan lain-lain. Bahan yang paling umum digunakan meliputi 85 persen magnesium, asbes, kalsium silikat, dan serat mineral;
- Isolator Suhu Tinggi (325 °C ke atas), yang umumnya digunakan untuk boiler, sistem *superheated steam*, oven, pengering, dan tungku. Bahan yang paling sering digunakan adalah asbes, kalsium silikat, serat mineral, mika, vermiculit, *fireclay*, silika, dan serat keramik.

Faktor-faktor penting yang harus dipertimbangkan ketika memilih bahan isolasi adalah:

- Temperatur operasi sistem;
- Jenis bahan bakar yang digunakan;
- Ketahanan bahan terhadap panas dan kondisi cuaca buruk;
- Konduktivitas termal material;
- Difusivitas termal bahan;
- Kemampuan material untuk menahan berbagai kondisi, seperti kejutan panas, getaran, dan bahan kimia;
- Ketahanan bahan terhadap nyala api/kebakaran;
- Permeabilitas bahan;
- Total biaya, termasuk pembelian bahan, pemasangan, dan perawatan.

Tabel 6-3  
Material isolasi untuk aplikasi yang berbeda-beda

ISOLATOR			
Jenis Isolasi	Aplikasi	Kelebihan	Kekurangan
<b>Polystyrene</b> Isolator organik yang dibuat dengan polimerisasi <i>styrene</i>	Cocok untuk suhu rendah (-167 °C hingga 82 °C). Terutama digunakan dalam ruang dingin, pipa pendinginan, dan struktur penahan beton	Kaku dan ringan	Mudah terbakar, memiliki titik leleh yang rendah, mengalami degradasi UV, dan rentan terhadap pelarut
<b>Polyurethane</b> Dibuat dari reaksi <i>isocyanides</i> dan alkohol	Cocok untuk suhu rendah (-178 °C ke 4 °C). Terutama digunakan dalam ruangan dingin, transportasi berpendingin, lemari pembekuan, pendinginan pipa, serta isolasi lantai dan pondasi	Struktur sel tertutup, densitas rendah, dan kekuatan mekanik yang tinggi	Mudah terbakar dan menghasilkan uap beracun
<b>Rockwool</b> (serat mineral). Diproduksi dengan pelelehan basal dan <i>coke</i> dalam cupola pada sekitar 1500 °C. <i>Binder</i> berbasis fenol digunakan. Tersedia sebagai matras, selimut, dan bentuk lepas atau <i>preformed</i> untuk isolasi pipa	Cocok untuk suhu sampai 820 °C. Terutama digunakan untuk mengisolasi oven industri, penukar panas, pengering, boiler, dan pipa suhu tinggi	Memiliki berbagai kepadatan yang luas dan tersedia dalam berbagai bentuk. Senyawa ini bersifat <i>inert</i> , tidak-korosif, dan mempertahankan kekuatan mekanis selama penanganan	
<b>Fibreglass</b> Dibentuk oleh ikatan serat kaca panjang dengan <i>thermo setting</i> resin untuk membentuk <i>blankets</i> dan <i>bats</i> , papan setengah kaku, papan kaku berkepadatan tinggi, dan <i>preformed</i> bagian pipa	Cocok untuk suhu sampai 540 °C. Terutama digunakan untuk mengisolasi oven industri, penukar panas, pengering, boiler, dan pipa	Tidak akan hancur dengan penuaan	Produk <i>fibreglass</i> sedikit basa - pH 9 (netral pH 7). Sebaiknya dilindungi terhadap kontaminasi eksternal untuk menghindari percepatan korosi baja
<b>Calcium Silicate</b> Terbuat dari bahan kalsium silikat anhidrat diperkuat dengan pengikat non-asbes. Tersedia dalam bentuk <i>slab</i> berbagai ukuran.	Cocok untuk suhu sampai 1050 °C. Terutama digunakan untuk mengisolasi dinding tungku, <i>fire boxes</i> , <i>back-up</i> refraktori, dinding, cerobong, dan boiler	Struktur sel udara kecil, konduktivitas termal yang rendah, dan akan mempertahankan ukuran dan bentuk dalam kisaran suhu yang bisa digunakan. Ringan, namun	



		memiliki kekuatan struktur yang baik sehingga dapat menahan abrasi mekanik. Tidak akan terbakar atau lapuk, tahan terhadap kelembaban dan tidak-korosif	
<b>Ceramic fibre</b> Terbuat dari alumina murni dan butiran silika, dicairkan dalam tanur listrik dan dihancurkan oleh gas kecepatan tinggi ke serat halus ringan. Dibuat dalam berbagai bentuk, termasuk <i>cloth, felt, tape, coating cements and variform castable</i> (bata api)	Cocok untuk suhu sampai 1430 °C. Terutama digunakan untuk melindungi tungku dan kiln refraktori, <i>fire box, glass feeder bowls</i> , perbaikan tungku, isolasi kumparan induksi, gasket suhu tinggi, dan bahan pembungkus	Sesuai untuk berbagai aplikasi karena bentuknya beragam	

#### 6.1.3.4. Katup Penurun Tekanan

Katup penurun tekanan uap juga sering dikenal dengan istilah *let-down*. Peralatan ini beroperasi pada sebuah lingkaran/daur (*loop*) umpan balik dan selalu membutuhkan jalan pintas (*by pass*) dalam keadaan darurat dan pada saat perbaikan.

Fungsi *let-down* adalah:

- Memberikan pengendalian aliran uap
- Memberikan penyeimbangan pada *pressure header*



Gambar 6-2. Katup Penurun Tekanan  
(sumber : <http://www.bermad.com.au/>)

### 6.1.3.5. Tangki *Flash*

Fungsi Tangki *Flash* (*Flash Tank*) pada sistem distribusi uap adalah:

- Mengambil kembali uap *flash* dari kondensat
- Menghilangkan potensi masalah pada *recovery* kondensat, seperti:
  - Palu air (*water hammer*)
  - Tekanan balik
  - Aliran 2 fase
- Tangki *blowdown flash* mengurangi temperatur air sebelum dibuang ke saluran pembuangan.



Gambar 6-3. *Blowdown flash tank*.  
(sumber : <http://jpvftech.com/>)

### 6.1.3.6. Tangki Kondensat

- Disediakan untuk penampungan kondensat secara bersamaan
- Biasanya diletakkan di atas untuk menyediakan kebutuhan isap pompa
- Dapat digabungkan dengan deaerator dan pemanas, serta penyimpan air umpan.

## 6.2. AUDIT ENERGI PADA SISTEM DISTRIBUSI UAP

### 6.2.1. Tujuan

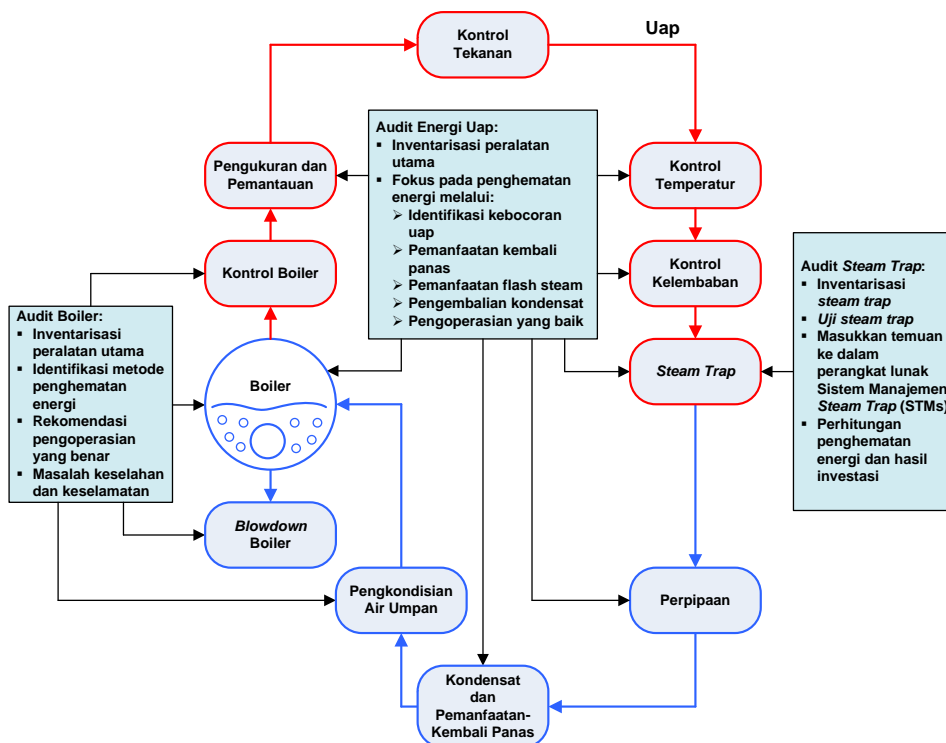
Tujuan pelaksanaan audit energi pada sistem distribusi uap adalah untuk:

- Memperoleh gambaran secara lengkap dan menyeluruh tentang neraca pemakaian uap (*steam*);
- Mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan;
- Menentukan besarnya potensi penghematan energi;
- Mendapatkan potensi penghematan pemakaian energi secara keseluruhan, serta menentukan langkah-langkah penghematan energi tanpa mengurangi tingkat produktivitas;
- Mengetahui kebutuhan dan pemakaian uap dari setiap peralatan pengguna uap (neraca massa dan energi); dan
- Memberikan rekomendasi pelaksanaan penghematan energi.

## 6.2.2. Ruang Lingkup

### 6.2.2.1. Ruang Lingkup Kajian

Pengertian ruang lingkup kajian di sini adalah “wilayah” mana saja yang menjadi sasaran atau tugas untuk dilakukan kajiannya. Untuk audit energi pada sistem distribusi uap secara ringkas ruang lingkup kajiannya dapat dilihat pada Gambar 6-4. Dari diagram tersebut dapat diketahui bahwa ruang lingkup kajiannya meliputi: mulai uap dibangkitkan oleh boiler, jalur distribusi, hingga pengguna akhir uap.



Gambar 6-4. Diagram Audit Energi pada Sistem Distribusi Uap.  
(Sumber: Spirax-Sarco Limited, 2013)

### 6.2.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan

Sedangkan yang dimaksud dengan ruang lingkup kegiatan/pekerjaan adalah hal-hal apa saja yang mesti dilakukan dalam melaksanakan kegiatan atau pekerjaan audit energi pada sistem distribusi uap.

Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan inilah yang akan dibahas secara rinci di dalam buku ini, mulai Subbab 6.3 hingga selesai.

Perlu disampaikan di sini bahwa Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan dirancang berdasarkan Ruang Lingkup Kajian. Oleh karena itu dengan melaksanakan - tahap

demikian tahap - kegiatan/pekerjaan sebagaimana diuraikan pada Subbab 6.3 hingga selesai berarti juga sudah memenuhi Ruang Lingkup Kajian.

Ruang lingkup kegiatan/pekerjaannya meliputi: a) Persiapan, b) pengukuran, c) analisis, dan d) penyusunan laporan.

## 6.3. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM DISTRIBUSI UAP

### 6.3.1. Data Awal

Hal penting yang mesti dipenuhi dalam tahap persiapan (sebelum melaksanakan audit energi pada sistem distribusi uap) adalah informasi tentang data awal. Dengan adanya data awal ini maka tim auditor dapat mempersiapkan atau mengantisipasi segala sesuatu yang dibutuhkan pada saat pelaksanaan pengumpulan data di lapangan/pabrik dengan lebih teliti dan lengkap. Segala sesuatu yang dimaksudkan di sini meliputi: jumlah personil, waktu yang dibutuhkan untuk pengumpulan data, dan peralatan yang akan dibawa (alat-alat ukur, pendukung, dan keselamatan (*safety*)).

Data awal yang dibutuhkan adalah:

- Data proses dan produksi, disertai dengan diagram alirnya atau *flowsheet*;
- Data umum yang menggambarkan sistem distribusi uap yang terpasang pada *plant*. Akan lebih baik bila disertai pula dengan gambar atau diagram;
- Jumlah dan jenis peralatan, meliputi:
  - Pembangkit uap: boiler
  - Perangkat distribusi: *steam header*, *flash tank*, tangki kondensat, *pressure reducing valve* (PRV), *steam trap*, pipa-pipa distribusi, *valve*, *flange*;
  - Pengguna uap: alat atau mesin pengguna uap, misal turbin uap, evaporator, *heater*, *steam ejector*, *heat exchanger*, dan lain-lainnya.
- Kondisi operasi peralatan tersebut di atas, meliputi laju alir, tekanan, dan temperatur;
- Alat ukur yang terpasang dan beroperasi dengan baik atau pembacaannya akurat, misalnya:
  - *Steam flowmeter*
  - *Condensate flowmeter*
  - *Pressure gauge*
  - *Temperature-meter*
  - *Pressure Reducing Valve*
  - *Pressure Relief Valve*

Data awal tersebut di atas dapat diperoleh melalui 2 cara, yaitu: 1) tinjauan langsung atau survei awal, atau 2) pengiriman lembar isian atau kuesioner.

Cara pertama, yakni tinjauan langsung atau survei awal merupakan cara yang sangat disarankan. Melalui survei awal ini tim auditor dapat mencatat, melihat, mendengar, dan merekam/mendokumentasikan secara langsung sistem yang akan

diauditnya.

Pada saat melakukan survei awal ini tim auditor disarankan membawa serta Lembar Isian (Kuesioner) Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran 1-1). Dengan demikian Lembar Isian ini langsung diisi oleh tim auditor.

Cara kedua adalah mengirimkan Lembar Isian sebagaimana dimaksudkan di atas. Tim Auditor bersikap pasif, menunggu hingga kuesioner itu diisi oleh pihak pabrik dan dikembalikan kepada tim auditor.

### 6.3.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 6.3.2.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan data awal sebagaimana diuraikan di dalam Subbab 6.3.1, selanjutnya dibentuk Tim. Personil yang dibutuhkan sangat tergantung pada lingkup audit yang akan dilakukan serta besarnya skala industri yang akan diaudit. Kebutuhan minimum personil untuk melakukan audit di sistem distribusi uap sebanyak 3 orang, yaitu:

- 1 orang auditor energi (*mechanical/process engineer*) selaku Koordinator atau *Lead Auditor*;
- 1 orang teknisi mekanikal; dan
- 1 orang teknisi elektrik.

#### 6.3.2.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem distribusi uap. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Distribusi Uap (Lampiran 1-6) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem distribusi uap di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Distribusi Uap; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem distribusi uap ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;

- i). Apabila audit energi pada sistem distribusi uap ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem distribusi uap saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Teknisi bertugas:

- Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem distribusi uap. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Distribusi uap (Lampiran L 1-6);
- Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem distribusi uap.

### 6.3.3. Penyusunan Jadwal Kegiatan

Apabila audit energi pada sistem distribusi uap ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator Tim tidak perlu menyusun jadwal kegiatan. Koordinator beserta segenap anggota Tim mengikuti jadwal yang telah disusun oleh Manajer Tim, yang merupakan bagian dari kegiatan secara keseluruhan.

Namun, apabila audit energi pada sistem distribusi uap ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem distribusi uap saja, maka Koordinator bertugas menyusun jadwal kegiatan. Contoh jadwal kegiatannya dapat dilihat pada Tabel 6-4.

Tabel 6-4  
Contoh jadwal kegiatan audit energi pada sistem distribusi uap  
(apabila audit energi ini sebagai audit energi “tunggal”)

No	Kegiatan	Minggu Ke-				
		1	2	3	4	5
1	Persiapan - Pengumpulan data awal (melalui survei awal atau pengiriman kuesioner) - Pembahasan data awal, pembentukan tim, persiapan peralatan, dan mobilisasi					
2	Pengumpulan data primer dan sekunder					
3	Evaluasi dan Analisis Data					
4	Penyusunan laporan					
5	Presentasi laporan akhir					
6	Koordinasi manajemen					

## 6.3.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

### 6.3.4.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 6.3.2.2. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

### 6.3.4.2. Persiapan Teknis

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Dengan mengetahui jenis dan jumlah alat-alat ukur yang terpasang di pabrik (melalui data awal) maka pada tahap persiapan ini dapat dipersiapkan alat-alat yang harus dibawa ke pabrik. Rincian peralatan tersebut di atas, yang biasa digunakan saat melakukan audit energi pada sistem distribusi uap dapat dilihat pada Tabel 6-5 s.d 6-7.

Tabel 6-5  
Peralatan ukur untuk audit energi pada sistem distribusi uap \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<p><b><i>Ultrasonic liquid flowmeter</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur laju aliran air yang melalui pipa dengan cara memasang sensor <i>ultrasonic</i> dari alat ini pada bagian luar pipa.</li> </ul>	
<p><b><i>Non contact thermometer</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur temperatur pada permukaan objek ukur</li> </ul>	
<p><b><i>Temperature &amp; Humidity Meter</i></b></p> <p>Fungsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara</li> </ul>	
<p><b>Anemometer</b></p> <p>Fungsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur kecepatan udara.</li> </ul>	
<p><b><i>Steam trap analyser</i></b></p> <p>Fungsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengecek <i>steam trap</i> masih dalam kondisi baik atau tidak.</li> </ul>	
<p><b><i>Infrared thermography</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kamera yang berfungsi untuk mengukur temperatur benda untuk mendeteksi adanya masalah, seperti pada sambungan kabel instalasi listrik, dinding boiler, pipa-pipa uap panas, kebocoran area HVAC dengan menampilkan gambar <i>infrared</i> dari benda yang diukur yang mencantumkan besar nilai temperaturnya.</li> </ul>	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.



Tabel 6-6  
Peralatan pendukung untuk audit energi pada sistem distribusi uap \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Kabel Gulung Listrik</b>  Fungsi: - Untuk menyalurkan arus listrik hingga jarak 25 m dari sumber listrik.	  <i>(25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets)</i> ( <a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a> )
<b>Peralatan Mekanik</b>  Fungsi: - Sebagai alat bantu untuk pekerjaan yang bersifat mekanik.	  ( <a href="http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html">http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html</a> )
<b>Kamera (Digital)</b>  Fungsi : - Mendokumentasikan (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis.	  ( <a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a> )
<b>Meteran</b>  Fungsi : - Mengukur dimensi (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis	  ( <a href="http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20">http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20</a> )

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 6-7  
Peralatan K-3 untuk audit energi pada sistem distribusi uap \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Pelindung Kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) ( <a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a> )	
<b>Kacamata keselamatan</b> (Hornets safety glasses) ( <a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a> )	
<b>Sarung-tangan kain</b> ( <a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a> )	
<b>Sarung tangan anti panas</b> <a href="http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a>	
<b>Pelindung mulut dan hidung</b> ( <a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a> )	
<b>Lampu senter</b> ( <a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a> )	
<b>Pelindung telinga</b> ( <a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a> )	
<b>Pakaian keselamatan</b> ( <a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a> )	
<b>Sepatu keselamatan</b> ( <a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a> )	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### 6.3.5. Persiapan dan Pengarahan K-3

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu ilmu yang membahas tentang keselamatan dan kesehatan pekerja, lingkungan kerja, dan hasil kerja. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Produktivitas suatu perusahaan salah satunya sangat bergantung pada peran yang dilakukan oleh tenaga kerjanya. Kemampuan tenaga kerja untuk melakukan produksi memerlukan dukungan dan jaminan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

Bahaya kesehatan penting yang mungkin memiliki dampak kesehatan di industri di antaranya:

- Debu yang berada dan melayang di udara
- Kebisingan dan getaran
- Atmosfer yang berbahaya
- Radiasi
- Penanganan bahan bakar alternatif

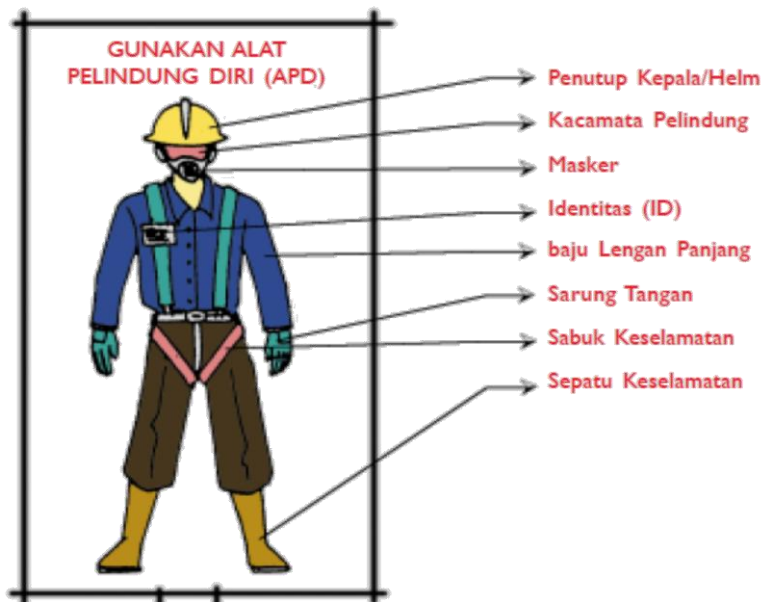
Terkait dengan kegiatan audit energi, selayaknya Buku Panduan tentang K-3 juga dimiliki oleh suatu institusi atau tim auditor energi. Dengan demikian pada saat tim auditor energi akan diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, maka Koordinator mengingatkan kembali dan/atau memberikan pengarahan di bidang K-3.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

Gambar 6-5 memperlihatkan contoh beberapa alat pelindung diri yang biasa digunakan.

Pelindung pernapasan yang memadai harus dipergunakan di lokasi yang berdebu di pabrik. Deflektor kebisingan dan peredam suara dapat dipergunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan. Upaya perlindungan dari kebakaran juga diperlukan, yang dilengkapi dengan prosedur evakuasi dalam kasus kebakaran, karena uap asap yang dihasilkan dapat bersifat racun. Prosedur kesehatan kerja mensyaratkan tersedianya pelindung mata, *masker* pernapasan, dan pakaian pelindung untuk sekujur tubuh di area pabrik berbahan kimia.



Gambar 6-5. Alat pelindung diri.  
(Sumber: K-3 pada industri semen, 2004)

#### 6.3.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

### 6.4. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER

#### 6.4.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Tahapan selanjutnya dalam melakukan audit energi di industri adalah pengumpulan data, baik data primer maupun data sekunder di lokasi obyek yang akan diaudit.

Sebelum pengambilan data dilakukan, tim audit energi terlebih dahulu memaparkan tahapan dan proses pelaksanaan audit energi pada sistem distribusi uap. Pemaparan ini merupakan pertemuan antara tim auditor dengan pihak pabrik yang akan diaudit energinya. Hal yang disampaikan oleh tim auditor adalah:

- Pengenalan Tim
- Pemaparan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Verifikasi/Klarifikasi Data yang Diperoleh

## 6.4.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

### 6.4.2.1. Pengumpulan Data Primer

#### A. Data Primer yang Dibutuhkan

Data primer selengkapnya yang dibutuhkan dapat dilihat pada Lampiran 1-6. Namun secara umum data primer yang harus diperoleh - melalui pengukuran - meliputi:

- a) Uap produksi boiler : - laju alir, [ton/jam] atau [kl/jam]
  - temperatur, [°C]
  - tekanan, [kg/cm<sup>2</sup>]
- b) Distribusi uap : - laju alir uap, [ton/jam]
  - temperatur, [°C]
  - tekanan, [kg/cm<sup>2</sup>]
- c) Heat Exchanger : - laju alir uap masuk, [ton/jam]
  - laju alir kondensat keluar, [ton/jam]
  - temperatur uap masuk, [°C]
  - tekanan uap masuk, [kg/cm<sup>2</sup>]
- d) *Process Heater* : - laju alir uap masuk, [ton/jam]
  - laju alir kondensat keluar, [ton/jam]
  - temperatur uap masuk, [°C]
  - tekanan uap masuk, [kg/cm<sup>2</sup>]
- e) *Condensate Recovery* : - laju alir kondensat yang digunakan kembali, [ton/jam]
- f) *Steam Trap* : - uji fungsi *steam trap*

#### B. Cara Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui pengukuran (langsung). Dalam hal alat ukur yang terpasang di industri tersebut berfungsi normal (akurat) maka memungkinkan bagi auditor untuk menyalin/mencatat data (primer) yang dihasilkan alat ukur tersebut. Dengan demikian auditor tidak perlu lagi melakukan pengukuran sendiri.

#### C. Periode Pengukuran

Secara umum pengukuran dilakukan secara sesaat dan/atau berkala, sekalipun suatu pengukuran secara sinambung (*on-line*) merupakan yang paling akurat.

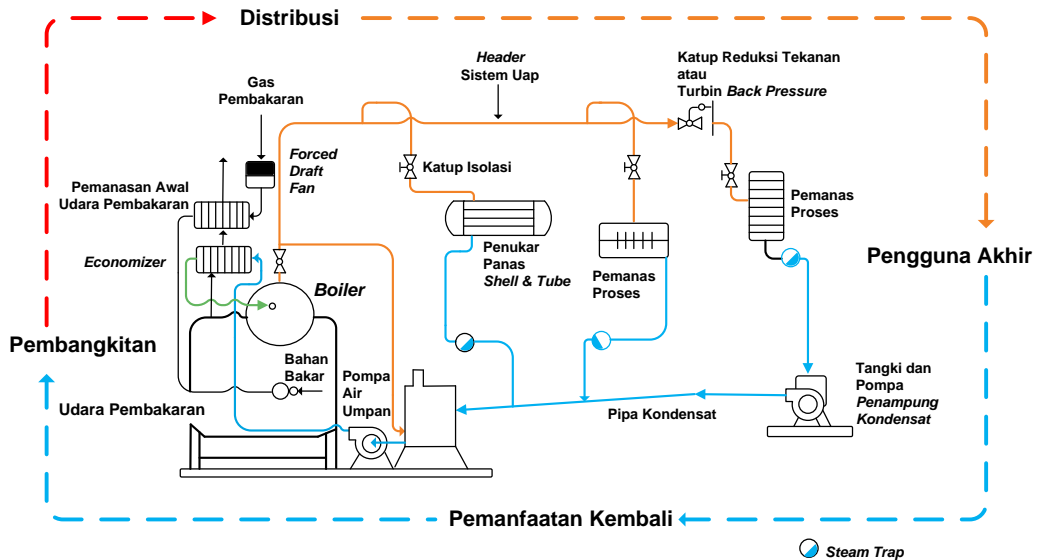
Periode pengukuran - pada titik tertentu - secara berkala dapat dilakukan, misal setiap 10 menit selama 2 jam.

#### D. Penentuan Titik Pengukuran

Titik pengukuran dilakukan pada peralatan-peralatan utama pengkonsumsi uap maupun peralatan produksi uap seperti boiler, evaporator, heat exchanger dan peralatan lainnya. Pengukuran dilakukan pada sisi *input* maupun *output* di setiap

peralatan.

Gambar 6-6 memperlihatkan contoh titik pengukuran sistem distribusi uap di industri.



Gambar 6-6. Contoh Titik Pengukuran Sistem Distribusi Uap.  
(Sumber: *The Energy Efficiency Exchange (eex.gov.au)*)

## E. Pelaksanaan Pengukuran

### E.1. Pengamatan *Steam Trap*, Isolasi Pipa, dan *Condensate Recovery*

#### E.1.1. *Steam Trap*

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk melihat kinerja *steam trap* adalah sebagai berikut:

1. Uji Visual: Pengujian dilakukan dengan mengamati aliran atau variasi aliran secara visual. Metode ini bekerja dengan baik dengan *trap* siklus *on/off*, tetapi kurang baik pada aliran tinggi atau proses, karena volume air dan *flash steam*. Untuk menguji *steam trap*, harus ada katup pengisolasi dan katup uji debit di *steam trap*.
2. Uji Suara: Pengujian menggunakan *ultrasonic leak detectors*, *mechanics stethoscopes*, *screwdriver* or *metal rod with a human ear*. Prinsipnya menggunakan suara yang dibuat oleh aliran untuk menentukan fungsi *steam trap* seperti metode visual. Metode ini bekerja baik pada *steam trap* siklus *on/off* atau *dribble on light load*. *Steam trap* yang memiliki pola pembuangan jenis modulasi sulit untuk diperiksa (contohnya proses, penukar panas, penanganan udara koil, dan lain-lain).

3. Uji Temperatur: Pengujian menggunakan *infrared guns*, *surface pyrometers*, *temperature tapes*, dan *temperature crayons*. Biasanya digunakan untuk mengukur suhu pembuangan pada sisi *outlet* dari *steam trap*. Pembacaan suhu biasanya akan lebih rendah dari suhu pipa internal yang sebenarnya karena fakta bahwa baja memiliki beberapa hambatan aliran panas. Kerak di bagian dalam pipa juga dapat mempengaruhi perpindahan panas. Beberapa peralatan inframerah yang lebih mutakhir namun mahal dapat mengkompensasi perbedaan ketebalan dinding dan material.
4. Uji Terpadu: pengembangan perangkat pengujian terpadu *steam trap* untuk mengatasi keterbatasan metode-metode di atas. Perangkat ini terdiri atas sebuah sensor, di pasang di dalam *steam trap*, yang mampu mendeteksi keadaan fisik media pada saat itu berdasarkan konduktivitasnya. Perangkat ini memiliki manfaat sebagai berikut:
  - Tidak terpengaruh oleh gangguan *flash steam*;
  - Hasilnya terbatas dan tidak memerlukan interpretasi;
  - Pemantauan dapat dilakukan secara lokal, jarak jauh, secara manual atau secara otomatis, dan dapat mendeteksi kegagalan langsung, sehingga meminimalkan limbah dan memaksimalkan investasi.

#### **E.1.2. Kehilangan (*Losses*) Energi pada Isolasi**

Evaluasi awal *losses* yang disebabkan oleh kerusakan atau tidak adanya isolasi pada pipa uap adalah dengan melakukan pengamatan visual sistem perpipaan uap dari pembangkit uap (boiler), *steam header*, dan sampai ke peralatan pengguna uap.

Hal-hal yang diamati secara visual di antaranya: perkiraan panjang pipa yang tidak terisolasi, diameter pipa, dan jenis isolasi yang digunakan.

#### **E.1.3. *Condensate Recovery***

Evaluasi awal pada sistem pemanfaatan kembali kondensat adalah dengan mengamati jumlah *level* tekanan uap yang ada pada *plant* (jumlah *steam header*) jumlah *flash tank*, *condensat tank*, estimasi jumlah kondensat yang *ter-recover*, temperatur kondensat dan jenis penggunaan *steam* pada pengguna akhir apakah digunakan dengan kontak langsung atau tidak langsung.

Selain itu pengamatan yang sering dilakukan adalah dengan melakukan pengecekan terhadap kualitas air kondensat dari hasil uji laboratorium berkala.

Perhitungan jarak antara tangki pengumpul dengan letak boiler juga perlu diamati untuk estimasi biaya dan kehilangan energi yang terjadi dari sistem perpipaan kondensat.

#### **F. Evaluasi Awal Hasil Pengukuran**

Berdasarkan data-data yang berhasil dikumpulkan, akan dilakukan *review* dan verifikasi data. Hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh memiliki validitas yang

tinggi dan dapat dipercaya. Data yang dikumpulkan akan dievaluasi dan dilakukan perhitungan sederhana terhadap beberapa kinerja peralatan maupun sistem distribusi uap.

#### 6.4.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

##### A. Data Sekunder yang Dibutuhkan

Data sekunder yang dibutuhkan meliputi:

- Data proses produksi, (PFD, SLD, dan lain-lain),
- Desain peralatan terpasang berikut pola operasinya,
- Data produksi bulanan (3 tahun terakhir),
- Konsumsi bahan baku dan produk yang dihasilkan,
- Konsumsi energi dan bahan bakar,
- Dokumen modifikasi proses yang pernah dilakukan,
- Permasalahan yang sering muncul akhir-akhir ini,
- *Standard Operating Procedure (SOP)*.

##### B. Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder umumnya dilakukan pada saat survei awal. Namun demikian pada saat pelaksanaan pengukuran (data primer) dapat juga sekaligus melengkapi kekurangan data sekunder.

Pengumpulannya juga dilakukan dengan pengamatan serta *interview* terhadap operator dan pihak manajemen pabrik, untuk memperoleh pola konsumsi energi yang lebih rinci serta menggali peluang-penghematan energi yang dapat dilakukan.

#### 6.4.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setelah selesai melakukan pengamatan dan pengukuran pada sistem distribusi uap di *plant* maka auditor diharapkan bisa menyampaikan temuan-temuan sementara hasil audit lapangan.

Beberapa temuan yang didapatkan tersebut, antara lain berisi mengenai kondisi *best practice* yang telah berjalan di *plant*, titik fokus area yang terdapat potensi penghematan energi, evaluasi sesaat pola operasi dan pemeliharaan, dan kondisi eksisting kinerja peralatan yang ada.

Ketika pengumpulan data dan informasi pada aktivitas audit di industri telah selesai dilaksanakan maka untuk memberikan informasi kepada pihak manajemen di industri, dibuatlah ringkasan kondisi status awal terhadap pola operasi dan manajemen sistem distribusi uap di Industri tersebut.

Ringkasan tersebut dapat mengacu pada format *Steam System Scooping Tools (SSST)* yang dibuat oleh Departemen Energi Amerika Serikat yang bisa diunduh gratis pada *website* DOE. Contoh hasil evaluasi awal dengan menggunakan SSST adalah sebagai berikut:



SUMMARY OF STEAM SCOPING TOOL RESULTS		
	POSSIBLE SCORE	YOUR SCORE
STEAM SYSTEM PROFILING	90	88
STEAM SYSTEM OPERATING PRACTICES	140	98
BOILER PLANT OPERATING PRACTICES	80	50
DISTRIBUTION, END USE, RECOVERY OP. PRACTICES	30	31
TOTAL SCOPING TOOL QUESTIONNAIRE SCORE	340	267
TOTAL SCOPING TOOL QUESTIONNAIRE SCORE (%)		78.5%
Date That You Completed This Questionnaire		

Beberapa aspek yang dievaluasi adalah:

**Steam system profiling:** yang menganalisis laju produksi uap, laju kebutuhan air dan laju kebutuhan bahan bakar pada boiler, laju alir air tambahan (*make-up water*), laju alir *blowdown* serta ketersediaan *metering* uap apakah pada distribusi uap utama atau sampai pada pencabangan distribusi seperti uap masuk ke masing-masing proses ataupun peralatan utama.

**Steam System Operating Practices :** adalah evaluasi aspek pemeliharaan *steam trap*, pemeliharaan sistem *treatment* kimia air, seberapa sering pengecekan/pembersihan *tube* boiler, dan seberapa sering pengecekan konduktivitas/TDS air boiler dan *blowdown*.

**Boiler Plant Operating Practices:** aspek yang dievaluasi adalah seberapa sering pengecekan efisiensi boiler, apakah dilakukan *monitoring* suhu, komposisi CO dan O<sub>2</sub> pada gas buang boiler, serta apakah boiler sudah dilengkapi dengan sistem pemulihan panas.

**Distribution, End Use, dan Recovery Operating Practices:** aspek yang dievaluasi adalah bagaimana cara mereduksi tekanan pada *plant* apakah menggunakan *pressure reducing valve (PRV)* atau melalui *Steam Turbine*, berapa persen kondensat yang digunakan kembali, dan berapa besar *flash steam* yang digunakan kembali.

Total score maksimal berdasarkan SSST tersebut adalah 340. Dari kajian awal kondisi eksisting sistem distribusi uap pada *plant* akan diperoleh score tertentu.

Seperti pada contoh tersebut mendapatkan score 267 atau sebesar 78,5%, yang berarti masih terdapat potensi sekitar 21,5% untuk peningkatan kinerja sistem distribusi uap pada *plant* tersebut. Berdasarkan score yang diperoleh pada SSST tersebut maka dapat diketahui potensi peningkatan kinerja sistem apakah pada *steam sistem profiling*, *steam system operating practices*, *boiler plant operating practices* atau pada sistem distribusi uap.

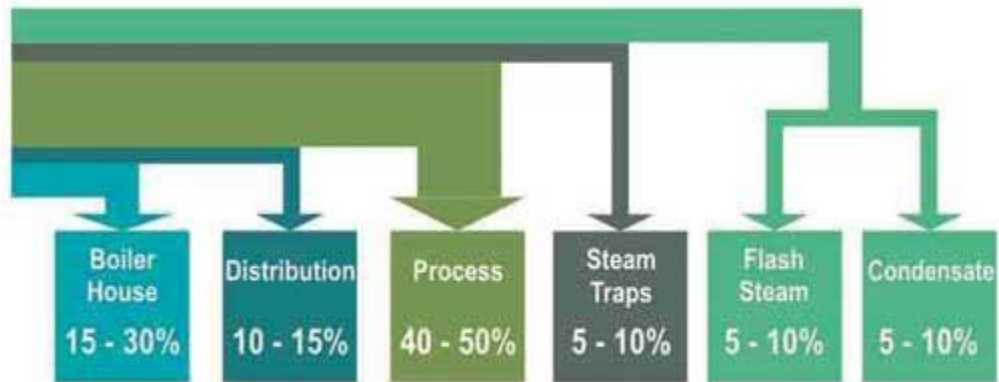
## 6.5. ANALISIS DATA HASIL SURVEI LAPANGAN

Peningkatan efisiensi energi pada sistem distribusi uap terutama difokuskan pada mengurangi kehilangan panas di seluruh sistem dan memanfaatkan sisa panas dari sistem jika memungkinkan. Pengukuran dapat menggambarkan sejumlah peluang penghematan energi dalam sistem distribusi uap di industri.

### 6.5.1. Analisis Neraca Massa dan Energi

Data-data yang diperoleh, baik melalui pengukuran langsung maupun data sekunder selanjutnya diolah dan dianalisis. Evaluasi dilakukan menggunakan neraca massa dan energi secara keseluruhan dari produksi *steam* sampai ke pengguna *steam*.

Dari evaluasi ini akan diketahui kehilangan *steam* baik *flow* maupun energinya. Untuk memudahkan dalam menganalisis di sistem distribusi uap, dapat dilakukan dengan membuat Diagram Sankey. Gambar 6-7 memperlihatkan contoh Diagram Sankey pada sistem uap.



Gambar 6-7 Penggunaan energi secara umum dan rugi-rugi di sistem Uap  
(Sumber: IPFonline, Ltd. Jain, 2013)

Diagram Sankey di atas menunjukkan bahwa jika 100 unit uap yang dihasilkan, pada unit proses hanya menggunakan 40-50% energi dari uap yang dibangkitkan. Identifikasi potensi melalui audit energi dapat mengurangi biaya *steam* antara 15-25% untuk berbagai proses pabrik, dengan rekomendasi meliputi salah satu atau lebih dari langkah-langkah berikut:

- Mengurangi kebocoran Uap di Pipa Distribusi
- Mengurangi kebocoran melalui Steam Traps
- Perbaiki sistem Isolasi pipa uap
- Mengisolasi Valve
- Mengoptimalkan *Condensate Recovery*

### 6.5.2. Analisis *Steam Trap*



Gambar 6-8. Pengecekan *steam trap* secara visual.

- Pembuangan Kondensat (*Condensate Discharge*): *Inverted bucket and thermodynamic disc traps* mempunyai mekanisme pembuangan kondensat intermiten. *Float and thermostatic traps* dengan sistem pembuangan kondensat secara kontinyu. Pada *Thermostatic traps* pembuangan kondensat bisa secara kontinyu maupun intermiten tergantung bebannya. Sebagai pengecualian, pada *inverted bucket traps* jika dibebani pada beban yang sangat rendah, maka sistem pembuangan kondensatnya terjadi secara kontinyu.
- *Flash steam*. Sangat sulit membedakan secara visual apakah *steam trap* menghembuskan *flash steam* atau *live steam*. *Flash steam* yang keluar dari *steam trap* adalah uap yang ditimbulkan karena kondensat yang terbuang ke atmosfer, sedangkan *live steam* adalah uap yang keluar dari *steam trap* karena kebocoran. Akan tetapi untuk sekedar menandai jika uap yang dihembuskan *steam trap* agak kebiru-biruan maka terjadi kebocoran *live steam*. Jika uap yang dihembuskan *steam trap* berwarna putih mendung maka hal tersebut sebagai indikasi *flash steam*.
- Hembusan uap secara kontinyu atau tidak terdapat aliran uap sama sekali yang keluar dari *steam trap*, maka ini bisa sebagai indikasi terdapat masalah pada *steam trap*. Jika hal ini terjadi maka dapat dilakukan pengecekan terhadap sistem aliran *steam* atau sistem mekanik pada *steam trap*.

#### 6.5.2.1. Perbaikan *Steam Trap*

Penggunaan termostatis elemen *steam traps* modern dapat mengurangi penggunaan energi selain itu juga meningkatkan kehandalan. Keuntungan efisiensi *steam trap* ini adalah *trap* akan terbuka saat suhu sangat dekat dengan uap jenuhnya ( $4^{\circ}\text{F}$  atau  $2^{\circ}\text{C}$ ), menghilangkan gas tak terkondensasi setiap pembukaan, dan terbuka pada *start up* yang memungkinkan sistem uap cepat memanaskan. *Steam trap*

ini juga sangat handal dan mampu untuk berbagai macam tekanan uap (Alesson, 1995).

Desain *steam trap* yang baru adalah *steam trap venture-orifice*, yang lebih sesuai untuk berbagai beban dari *steam traps* mekanis tradisional (Gardner, 2008).

#### 6.5.2.2. Pemeliharaan *Steam Trap*

Program sederhana pengecekan *steam trap* adalah memastikan *steam trap* beroperasi dengan benar dapat menyimpan sejumlah besar energi untuk menghemat biaya. Dengan tidak adanya program pemeliharaan *steam trap*, umumnya ditemukan sekitar 15% sampai 20% dari *steam trap* tidak berfungsi di sistem distribusi uap (Jaber, 2005). Tingkat kegagalan tahunan diperkirakan mencapai 10% atau lebih (Gardner, 2008).

Penghematan energi untuk sistem yang teratur cek *steam trap* dan tindak lanjut perawatan secara konservatif diperkirakan 10% (Jones, 1997; Bloss et al, 1997). Beberapa studi kasus industri menunjukkan bahwa investasi untuk perbaikan atau penggantian *steam trap* sangat rendah, dengan waktu pengembalian hanya beberapa bulan (IAC, 2008).

#### 6.5.2.3. Pemantauan (*Monitoring*) *Steam Trap*

Pemantauan secara otomatis *steam trap* dapat menghemat lebih banyak energi tanpa biaya tambahan signifikan. Langkah ini merupakan perbaikan/pemeliharaan *steam trap* saja, karena memberikan informasi lebih cepat saat *steam trap* mengalami kerusakan dan dapat mendeteksi *steam trap* ketika tidak beroperasi maksimal. Pemantauan *steam trap* diperkirakan dapat memberikan tambahan 5% penghematan energi.

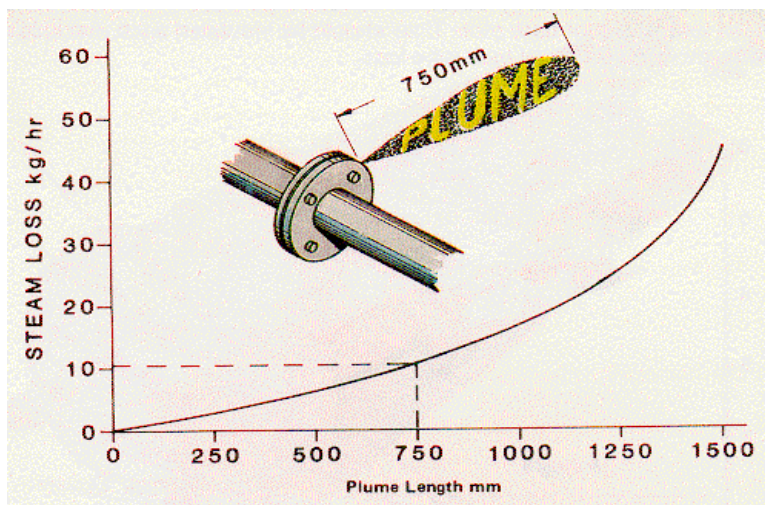
### 6.5.3. Analisis Jaringan Pipa Distribusi Uap

#### 6.5.3.1. Perbaikan Kebocoran

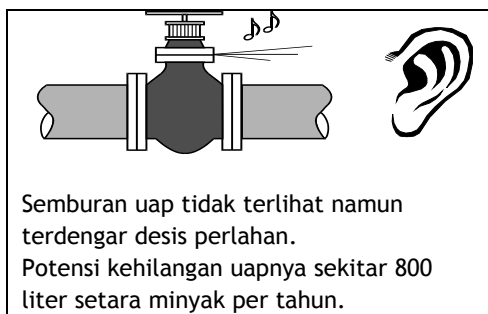
Seperti halnya *steam trap*, jaringan pipa distribusi uap sering mengalami kebocoran yang tidak terdeteksi tanpa program pemeriksaan dan pemeliharaan rutin. US DOE memperkirakan bahwa perbaikan kebocoran pada sistem distribusi uap di pabrik *pulp* dan kertas AS dapat menghemat bahan bakar sekitar 2% (US DOE 2002b) dengan *payback period* kurang dari satu tahun (IAC 2008).

Pendekatan empiris untuk menghitung laju kebocoran uap dapat dilihat pada Gambar-gambar 6-9, 6-10, dan 6-11.

Gambar 6-9 memperlihatkan sebuah metode grafis-empiris untuk menghitung kehilangan uap akibat kebocoran. Ilustrasi pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa semburan uap (bocor) sepanjang 750 mm setara dengan kehilangan uap sejumlah 1 kg per jam.

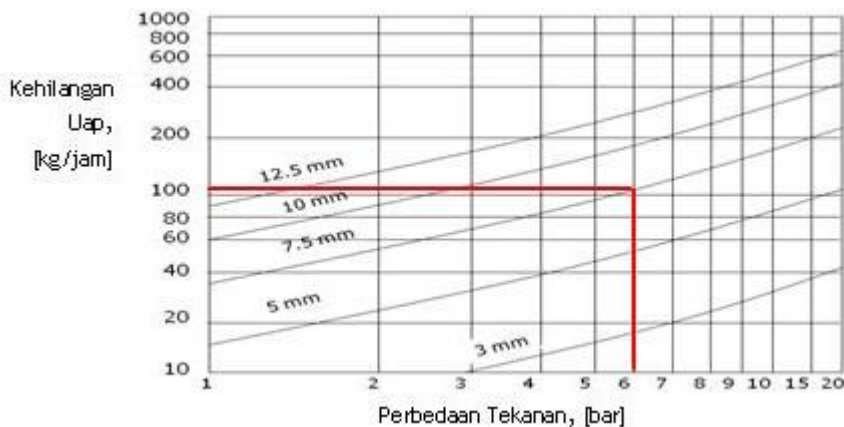


Gambar 6-9. Korelasi antara panjang semburan uap dengan laju kehilangan uap.



Gambar 6-10. Metode praktis dalam memperkirakan laju kehilangan uap.

Metode lain dalam menghitung kebocoran uap dapat dilakukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 6-11. Ilustrasi pada gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk pipa dengan diameter lubang (bocor) 7,5 mm serta perbedaan tekanan antara uap dan kondensatnya sebesar 6 bar-g, maka laju kebocoran uapnya adalah 110 kg per jam.



Gambar 6-11. Metode grafis dalam memperkirakan laju kehilangan uap berdasarkan tebal pipa dan perbedaan tekanan.

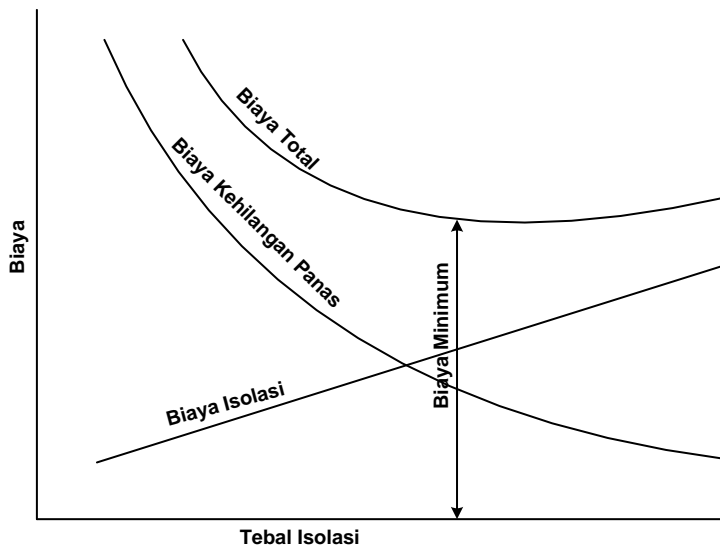
### 6.5.3.2. Panas Hilang Pada Permukaan Pipa Tidak Berisolasi

#### A. Perbaikan Isolasi

Penggunaan bahan isolasi yang terbaik untuk aplikasi dapat menghemat energi dalam sistem distribusi uap. Faktor penting dalam memilih bahan isolasi meliputi konduktivitas termal rendah, stabilitas dimensi di bawah perubahan suhu, ketahanan terhadap penyerapan air, dan resistensi pembakaran. Karakteristik lain dari bahan isolasi juga penting tergantung pada aplikasi, seperti toleransi variasi suhu yang besar, toleransi getaran sistem, dan kuat tekan yang memadai di mana isolasi adalah bantalan beban (Baen dan Barth, 1994).

Bantalan isolasi yang dapat dilepas umumnya digunakan dalam fasilitas industri untuk isolasi *flange*, *valve*, *expansion joints*, *exchangers*, pompa, turbin, tangki, dan permukaan lainnya. Bantalan isolasi dapat dengan mudah dilepas untuk inspeksi berkala atau perawatan, dan diganti sesuai kebutuhan. Bantalan isolasi juga mengandung hambatan akustik untuk membantu mengendalikan kebisingan (US DOE 2004a). US DOE memperkirakan dengan pemasangan isolasi yang dapat dilepas pada *valve*, pipa, dan *fitting* dapat mengurangi penggunaan energi di sistem uap sekitar 1-3% (US DOE, 2006c). Studi kasus di industri *pulp* dan kertas AS menunjukkan bahwa *payback period* kurang dari satu tahun dengan peningkatan isolasi ini (IAC 2008).

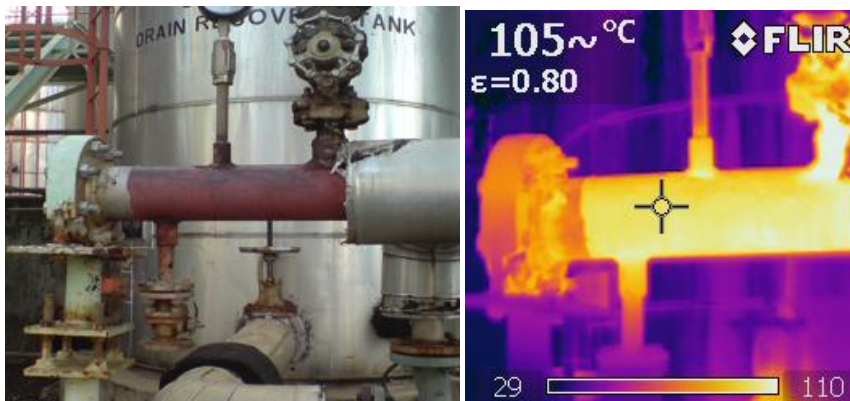
Pemasangan atau penggantian isolasi mesti dilakukan dengan memperhitungkan desain yang optimum namun biaya minimum. Grafik tipikal untuk memenuhi hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6-12.



Gambar 6-12. Grafik tipikal dalam pemasangan atau penggantian isolasi.

## B. Pemeliharaan Isolasi

Sering ditemukan pada sistem distribusi panas, isolasi mengalami kerusakan/rapuh dari waktu ke waktu dan tidak dilakukan perbaikan, isolasi tidak diganti (lihat Gambar 6-13). Oleh karena itu, inspeksi dan pemeliharaan sistem isolasi yang teratur juga akan menghemat energi.



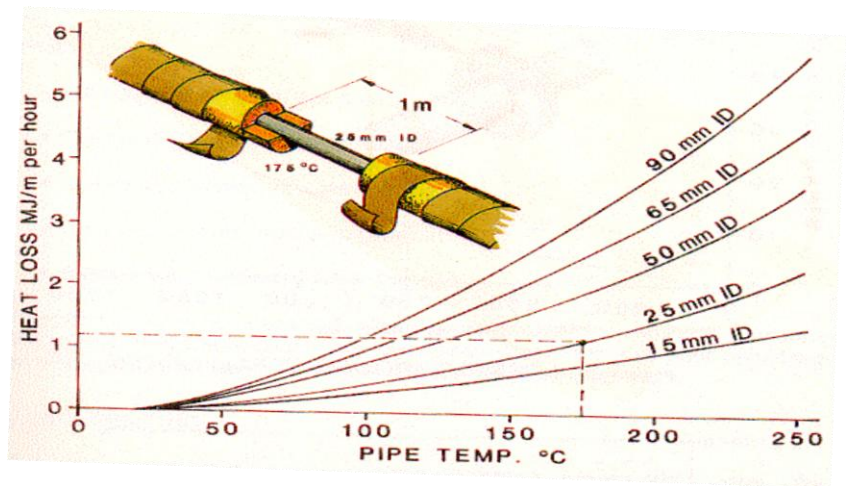
Gambar 6-13. Pipa yang tidak terisolasi.

US DOE memperkirakan bahwa (per 2002) kira-kira setengah dari pabrik *pulp* dan kertas di AS secara signifikan bisa mendapatkan keuntungan dengan memperbaiki isolasi dan instalasi, dan pabrik dapat mengurangi penggunaan bahan bakar di boiler dari 3 sampai dengan 10% jika upaya perbaikan dilakukan (US DOE 2002b).



C. Perhitungan Losses Karena Pipa Uap Tidak Berisolasi

- Metode Perhitungan 1  
Salah satu metode untuk menentukan kehilangan energi (*energy losses*) yang disebabkan oleh sistem isolasi adalah dengan metode empiris menggunakan grafik pada Gambar 6-14.



Gambar 6-14. Hubungan antara temperatur pipa tidak terisolasi dengan kehilangan energi.

Gambar di atas sebagai ilustrasi menghitung kehilangan energi oleh pipa tidak berisolasi sepanjang 1 m dengan diameter dalam pipa 25 mm dan temperatur permukaan pipa 175 °C, didapatkan sebesar (1,2 MJ/m per jam) x (1,0 m) atau sama dengan 1,2 MJ per jam.

Selain itu kehilangan panas juga dapat dihitung secara empiris dengan bantuan Tabel 6-8.

Tabel 6-8  
Kehilangan panas pada permukaan pipa uap tidak berisolasi

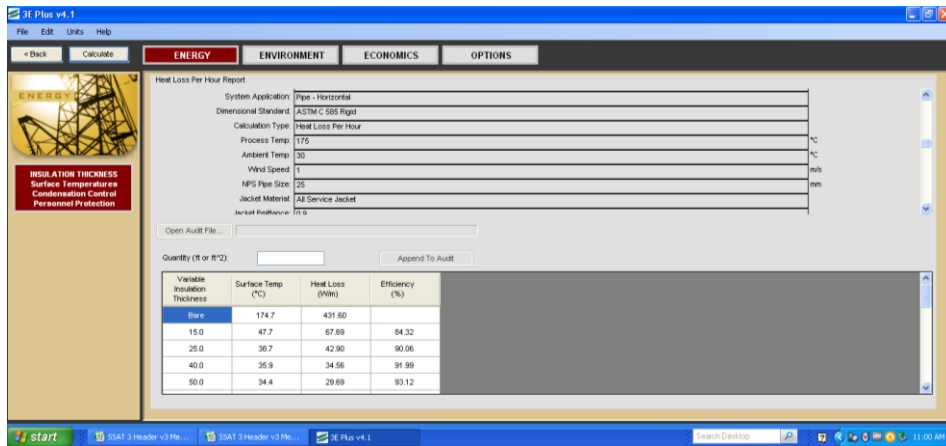
Perbedaan Temperatur antara Permukaan Pipa Luar dengan Udara Sekitar, [°C]	Panas Hilang, [kcal/m <sup>2</sup> .jam]
50	500
100	1.350
200	3.790
400	13.640

Catatan: Asumsi yang digunakan adalah temperatur udara sekitar 35 °C, factor emisivitas 0,9, dan aliran udara pada kondisi normal atau biasa.



- Metode Perhitungan 2

Perhitungan kehilangan energi dari pipa uap yang tidak terisolasi bisa juga menggunakan piranti lunak (*software*) yang dikembangkan oleh *North American Insulation Manufacturers Association (NAIMA)*, bisa diunduh gratis di [www.naima.org](http://www.naima.org).



Gambar 6-15. Perhitungan kehilangan energi pada pipa yang tidak terisolasi dengan *software 3E-Plus*.

(Sumber: NAIMA North American Insulation Manufacturers Association, 2014)



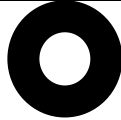
Dengan bantuan *software* tersebut dan memasukkan beberapa parameter seperti: temperatur permukaan pipa yang tidak terisolasi, diameter pipa, kecepatan angin, temperatur *ambient*, dan posisi pipa (horisontal/vertikal) maka dengan pipa uap pada kondisi yang sama seperti di atas akan didapatkan hasil perhitungan kehilangan energinya sebesar 1,5 MJ/m (lihat Gambar 6-15).

### 6.5.3.3. Panas Hilang Pada Permukaan Pipa Berisolasi

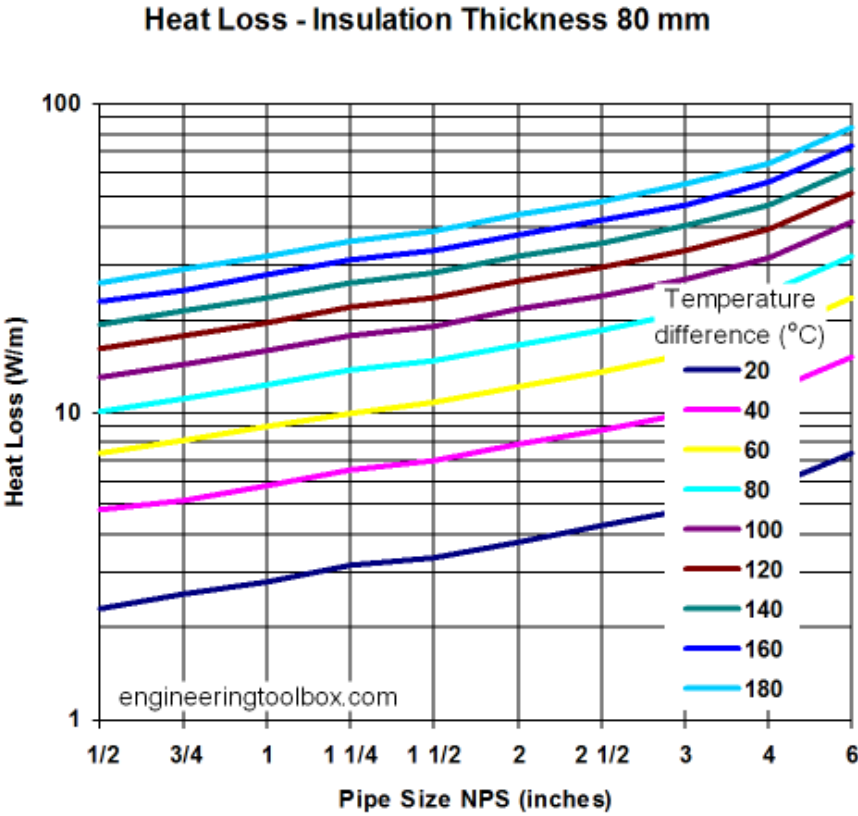
Pada pipa uap yang berisolasi juga masih terdapat potensi kehilangan panas. Potensi ini tentunya berbeda bila dibandingkan dengan pipa uap yang tidak berisolasi. Kehilangan panas ini terjadi dikarenakan beberapa kemungkinan, misalnya kerusakan pada struktur isolasi, pemilihan jenis isolasi yang tidak tepat, faktor usia isolasi, dan beberapa lainnya.

Gambar 6-16 memperlihatkan perbandingan kehilangan panas antara pipa tidak berisolasi dengan yang berisolasi untuk jenis dan diameter pipa uap yang sama (89 mm).

Sedangkan Gambar 6-17 hingga 6-23 adalah grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menghitung kehilangan panas pada pipa-pipa uap sekalipun sudah diisolasi. (Sumber: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/steam-distribution/steam-mains-and-drainage.asp>).

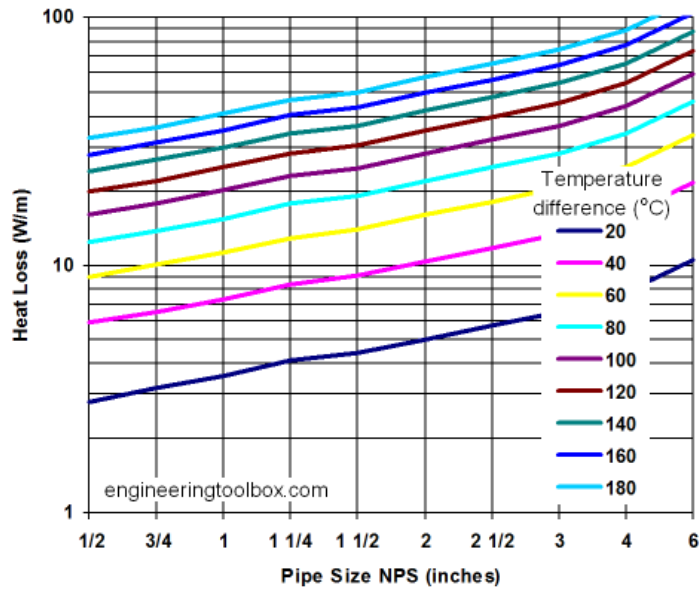
		
Pipa uap tidak berisolasi. Kehilangan panas: 320 W/m	Pipa uap berisolasi 50 mm Kehilangan panas: 29 W/m	Pipa uap berisolasi 100 mm Kehilangan panas: 19 W/m

Gambar 6-16. Perhitungan kehilangan panas pada pipa uap 89 mm, *Black Steel*, 90 °C.



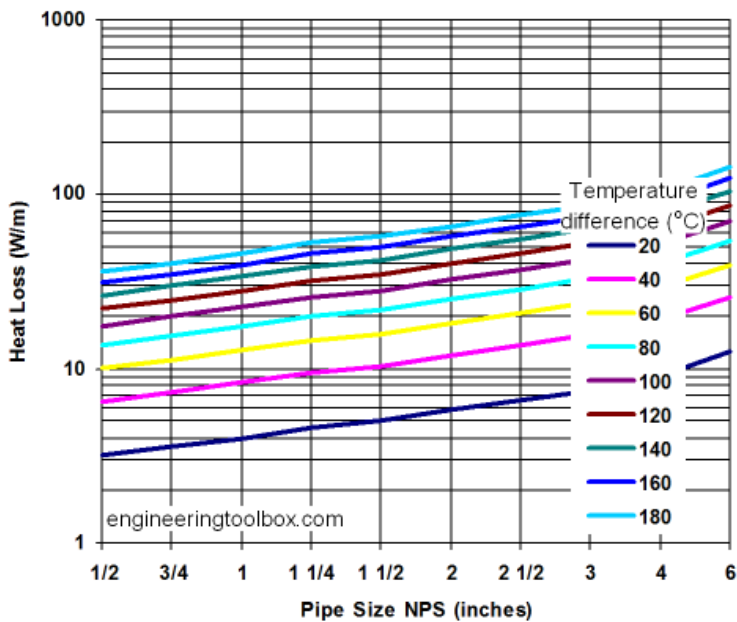
Gambar 6-17. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 80 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



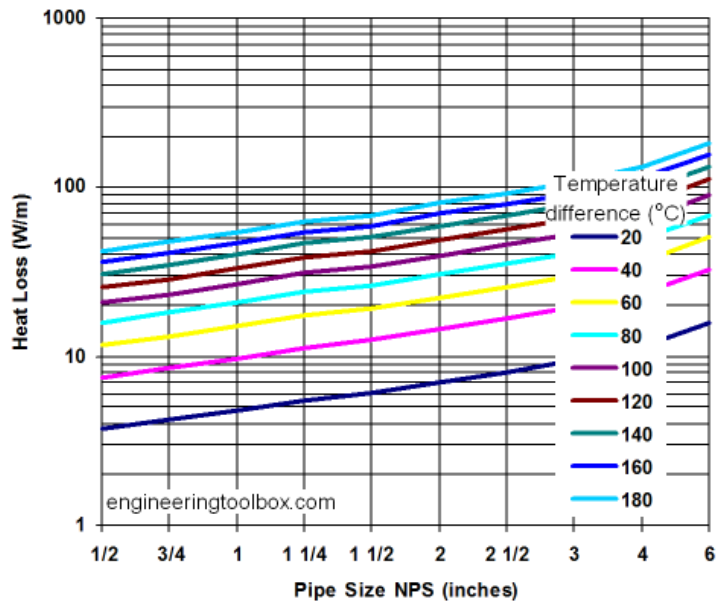
Gambar 6-18. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 50 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



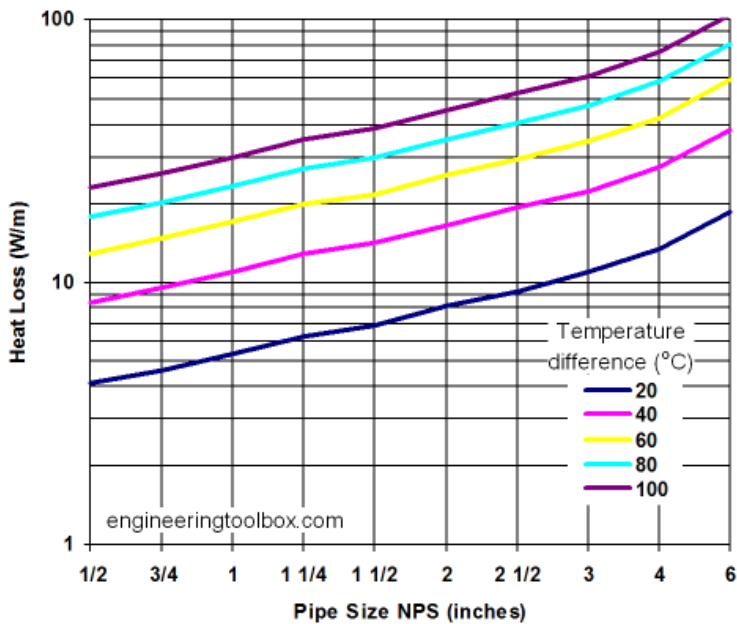
Gambar 6-19. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 40 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



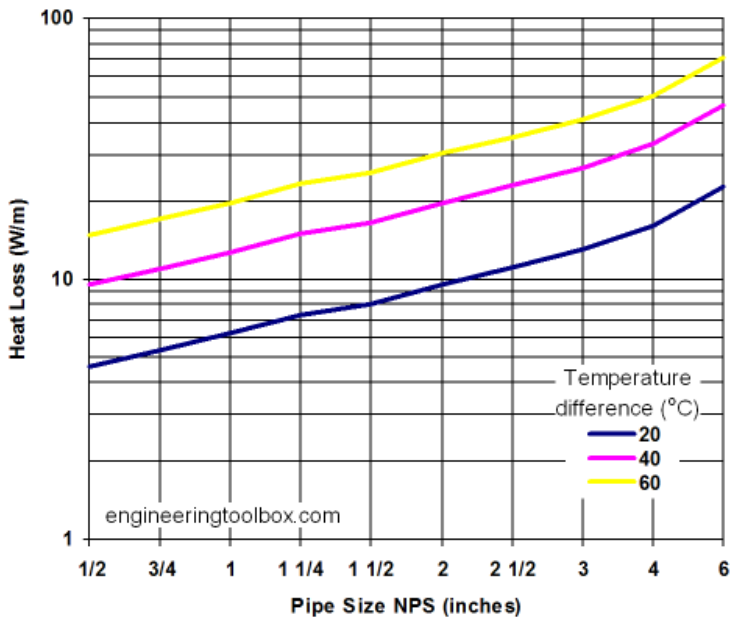
Gambar 6-20. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 30 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



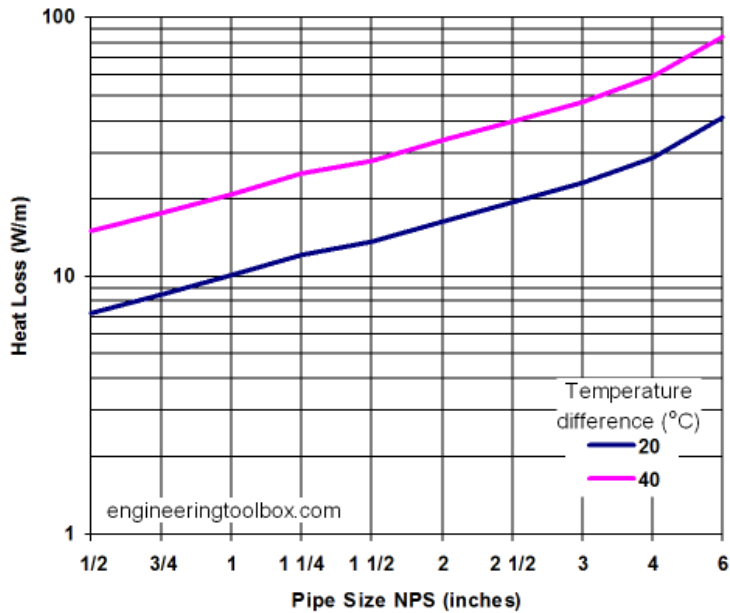
Gambar 6-21. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 25 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



Gambar 6-22. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 20 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))



Gambar 6-23. Hubungan antara ukuran pipa uap berisolasi 10 mm dengan kehilangan panas.

(Sumber: [http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d\\_1152.html](http://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-insulated-pipes-d_1152.html))

#### 6.5.3.4. Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

*Heat loss* bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Total heat loss} \left( H_s \text{ dalam } \frac{\text{kCal}}{\text{jam}} \right) = S \times A$$

$$S = [10 + (T_s - T_a)/20](T_s - T_a)$$

$$A (\text{m}^2) = 3,14 \times \text{diameter (m)} \times \text{panjang (m)}$$

Keterangan:  $S$  = Kehilangan panas (*heat loss*) per luasan, [kcal/jam m<sup>2</sup>]

$A$  = Luas permukaan, [m<sup>2</sup>]

$T_s$  = Temperatur permukaan, [°C]

$T_a$  = Temperatur *ambient*, [°C]

Catatan : Persamaan tersebut bisa digunakan untuk temperatur permukaan sampai dengan 2000 °C. Faktor lainnya seperti kecepatan angin, konduktivitas material isolasi tidak diperhitungkan.

Perhitungan biaya energi yang disebabkan oleh kebocoran energi di atas dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\text{Equivalent fuel loss} \left( H_f \text{ dalam } \frac{\text{kg}}{\text{thn}} \right) = \frac{H_s \times \text{jam operasi selama setahun}}{\text{GCV} \times \text{Eff. Boiler}}$$

$$\text{Annual costs of heat loss (\$)} = H_f \times \text{Harga Bahan bakar} \left( \frac{\$}{\text{kg}} \right)$$

Keterangan: GCV = Gross Calorific Value bahan bakar, [kCal/kg]

Eff. Boiler = Efisiensi Boiler, [%]

#### 6.5.4. Analisis Pada *Condensate Recovery*

##### 6.5.4.1. *Flash Steam Recovery*

Untuk *steam trap*, pada saat mengeluarkan kondensat dari *steam* bertekanan ke atmosfer maka akan terbentuk *flash steam*. *Flash steam* yang terbuang tersebut bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan pemanasan, seperti pemanasan awal air (*feed water heating*). Potensi pemanfaatan *flash steam* tersebut sangat tergantung pada ada tidaknya kebutuhan di dekat area tersebut. Sebagai contoh pada sebuah industri pengolahan makanan mengimplementasikan pemanfaatan *flash steam* untuk *feed water preheating* dan bisa menghemat biaya bahan bakar sebesar USD 29.000 dengan waktu pengembalian modal selama 1,8 tahun.

##### 6.5.4.2. *Condensate Recovery*

Pemulihan kondensat (*Condensate Recovery*) pada umumnya dianggap baik ketika melebihi 80%. Tergantung pada desain awal dan ukuran pabrik/industri, pada sistem pemulihan kondensat yang rendah akan menjadi area utama optimasi sistem uap. Kadang-kadang kendala proses industri seperti kemungkinan kontaminasi kondensat

dalam pada penukar panas menyebabkan kondensat tidak boleh dikembalikan ke boiler

### 6.5.5. Perhitungan Biaya Pembangkitan Uap

Untuk perhitungan biaya pembangkitan uap maka terdapat beberapa komponen yang mempengaruhinya, antara lain:

1. Bahan Bakar(CF)
2. Air umpan(CW)
3. Pengolahan Air Umpan Boiler (CBFW)
4. Daya listrik Pompa Air umpan Boiler (CP)
5. Daya listrik *blower* udara pembakaran(FD or ID) (CA)
6. Buangan *blowdown* (CB)
7. Abu/*Ash disposal* (CD)
8. *Environmental emissions control* (CE)
9. *Maintenance materials and labor* (CM)

Perhitungan harga uap relatif mudah. Total variabel biaya, CG adalah merupakan penjumlahan dari beberapa variabel yang dinyatakan dalam \$/kilo-Pound uap yang dibangkitkan:

$$C_G = C_F + C_W + C_{BFW} + C_P + C_A + C_B + C_D + C_E + C_M$$

Biaya bahan bakar merupakan komponen yang paling dominan, kontribusinya kurang lebih sekitar 90% dari total variabel yang mempengaruhi harga uap:

$$C_F = a_F \times (H_S - h_W) / 1000 / \eta_B$$

Keterangan:  $a_F$  = Biaya Bahan Bakar, [\$/MMBtu]

$H_S$  = entalpi uap, [Btu/lb]

$h_W$  = entalpi air umpan boiler, [Btu/lb]

$\eta_B$  = Efisiensi Boiler, [%]

Efisiensi boiler didasarkan pada pasokan udara pembakaran pada temperatur *ambient* dan temperatur air umpan boiler masuk deaerator. Diasumsikan bahwa pemanasan air umpan boiler dari ambien ke temperatur kondensat (biasanya sekitar 200 °F) dilakukan melalui pertukaran panas terhadap aliran proses.

Penggunaan *steam* untuk memanaskan air umpan boiler umum dilakukan saat energi murah, tetapi menggunakan panas berlebih dari proses merupakan alternatif peluang yang sangat besar untuk meningkatkan efisiensi siklus. Efisiensi boiler secara keseluruhan menjadi 80 sampai 85% ketika rasio udara berlebih mendekati optimal.

Pada prinsipnya, komponen biaya individu harus dihitung secara seksama untuk kondisi lokasi spesifik. Dalam prakteknya, biasanya cukup dengan menggunakan pendekatan:

$$C_G = C_F (1 + 0,30)$$

Angka 0,30 merupakan nilai yang umum untuk jumlah komponen biaya 2 sampai 9 di atas (di fasilitas minyak dan berbahan bakar gas). Namun, bisa lebih besar untuk fasilitas yang lebih kecil, atau pada penggunaan batubara dan biomassa. Biasanya, biaya pemeliharaan dapat dianggap tetap, bukan variabel. Jika pabrik memiliki beberapa boiler, dan ada pilihan untuk tidak mengoperasikan satu atau lebih boiler karena berkurangnya kebutuhan uap, maka biaya pemeliharaan akan lebih tepat bila dianggap sebagai variabel.

Langkah kedua adalah menghitung biaya *steam* pada tingkat tekanan yang lebih rendah. Hal ini tidak mudah, karena biaya tergantung pada distribusi uap dari pembangkitan ke titik pengguna. Uap tekanan rendah yang dihasilkan melalui unit penurun tekanan, biasanya PRV, secara substansi memiliki entalpi sama dengan entalpi sumber uap tekanan tingginya. Sehingga uap menjadi *superheated*, dan pada praktek yang normal untuk *desuperheat* menggunakan kondensat. Biaya uap tekanan rendah kemudian dihitung dari biaya uap bertekanan tinggi sebagai berikut:

$$C_L = C_H \times (H_{SL} - h_W) / (H_{SH} - h_W)$$

Keterangan:  $H_{SL}$  = entalpi uap tekanan rendah, [Btu/lb]

$H_{SH}$  = entalpi uap tekanan tinggi, [Btu/lb]

Uap tekanan rendah yang dihasilkan melalui PRV tidak efisien. Untuk uap di atas 50.000 lb/h, biasanya jauh lebih efektif dengan mengekstrak uap melalui turbin. Biaya uap tekanan rendah yang dihasilkan melalui turbin, dihitung sebagai:

$$C_L = C_H - 1000 \times a_E \times (H_{SH} - H_{SL}^*) / 3413 / \eta_T / \eta_G$$

Keterangan:  $a_E$  = Biaya listrik, [\$/kWh]

$H_{SL}^*$  = entalpi uap tekanan rendah dari ekspansi isentropik dari tekanan tinggi uap, [Btu/lb]

$\eta_T$  = Efisiensi isentropik turbin uap, fraksional

$\eta_G$  = efisiensi pembangkit, fraksional

Kesulitannya adalah menetapkan biaya yang benar untuk kenaikan atau penurunan konsumsi uap tekanan rendah, yang tergantung pada jalur yang dilalui oleh uap dari titik pembangkitan ke titik penggunaan (misalnya, PRV atau turbin). Satu-satunya cara untuk menentukan nilai yang benar adalah dengan mengembangkan model simulasi neraca panas dan material sistem.



### 6.5.6. Potensi Penghematan Energi

Dari hasil analisis data dan pengukuran pada sistem distribusi uap kemudian disusun satu kesimpulan dan rekomendasi terhadap temuan hasil audit energi. Beberapa rekomendasi potensi penghematan energi pada sistem distribusi uap di antaranya adalah:

- a) Perbaikan kebocoran uap dan kebocoran kondensat (setiap 3 mm diameter lubang pipa pada tekanan 7 kg/cm<sup>2</sup> uap akan membuang 33 kiloliter bahan bakar minyak per tahun).

Perbaikan kebocoran uap dan kebocoran kondensat pada umumnya memerlukan biaya investasi yang tidak besar dan waktu pengembalian modal cepat sekitar 0,4 hingga 0,5 tahun.

- b) Menggunakan *back pressure steam turbine* untuk memproduksi uap tekanan rendah.

Dengan mengganti PRV dengan turbin *back pressure, exhaust* uapnya digunakan untuk proses pabrik, energi dalam *steam inlet* dapat secara efektif diserap dan diubah menjadi listrik. Ini berarti *exhaust* uap memiliki suhu lebih rendah daripada jika tekanannya telah dikurangi melalui *pressure reducing valve (PRV)*.

- c) Memanfaatkan kembali kondensat dan *flash steam*.

Mengoptimalkan pemanfaatan kembali kondensat dimulai dengan mengevaluasi jumlah kondensat yang dikembalikan. Kondensat dikembalikan harus dievaluasi berdasarkan tingkat *header* uap yang berbeda. Pada *level* industri besar yang memiliki distribusi uap yang kompleks dan banyak peralatan pengguna uap, pemanfaatan kembali kondensat tergantung pada faktor-faktor berikut:

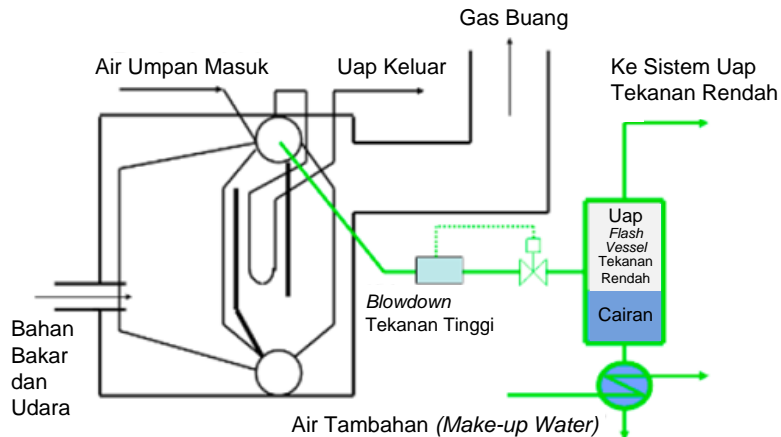
- o Tingkat kontaminasi;
- o Biaya peralatan pemulihan uap (*condensate recovery*);
- o Biaya perpipaan kondensat.

Pemanfaatan *flash steam*.

Pada industri yang menggunakan uap tekanan tinggi, terbuka peluang untuk memanfaatkan *flash steam* dari kondensat uap tekanan tinggi untuk memenuhi kebutuhan uap tekanan rendah. Dengan pemanfaatan *flash steam* tersebut maka akan menggantikan penggunaan uap tekanan rendah yang seharusnya dipasok dari *header* uap.

- d) Pemanfaatan kembali panas buang *blowdown* boiler.

Pemanfaatan kembali panas buang *blowdown* bisa dengan *me-recovery flash steam* (dari *blowdown* boiler *steam* tekanan tinggi) dan memanfaatkan kondensat dari *blowdown* untuk memanaskan *make up water*. Jika laju alir *blowdown* boiler  $\geq 5\%$ , maka potensi pemanfaatan kembali panas buang *blowdown* akan signifikan.



Gambar 6-24. Pemanfaatan kembali panas *blowdown*.  
(Sumber: US DOE).

- e) Perbaiki sistem isolasi pipa uap dan peralatan pengguna uap.  
Area yang pada umumnya terjadi permasalahan dengan isolasi pada sistem distribusi uap adalah:

- *header* uap
- Katup/*valve*
- Peralatan pengguna akhir uap
- Tanki penampung
- Pipa kondensat

Isolasi dapat mengurangi kehilangan energi sebesar 90% (dibandingkan tanpa isolasi) dan membantu menjaga tekanan uap pada *plant*.

- f) Pengecekan berkala *steam trap* dan mengganti *steam trap* yang tidak berfungsi.

### 6.5.7. Analisis Sistem Uap dengan Pemodelan (*Modelling*)

Setelah memahami sistem uap pada *plant* dan mengidentifikasi potensi penghematan energinya maka langkah berikutnya dalam optimasi sistem *steam* keseluruhan adalah untuk mengembangkan "Sistem *Steam Model*" yang secara akurat mencerminkan keseimbangan sistem uap keseluruhan, dengan mengembangkan model semua komponen dan dampaknya.

Ada beberapa perangkat lunak yang tersedia secara komersial yang dapat mengembangkan model sistem *steam* industri yang sangat akurat di industri. Tapi ini juga mungkin sangat mahal dan pasti akan membutuhkan pelatihan untuk membangun model sistem *steam* yang mencerminkan sistem uap di industri.

Selain itu, mungkin ada beberapa perangkat lunak yang tersedia dari internet gratis yang dapat digunakan untuk sistem pemodelan uap seperti SSAT yang

dikembangkan oleh DOE Amerika Serikat. Dengan bantuan piranti lunak ini kita bisa memodelkan sistem uap di industri dengan cepat, mudah, dan akurat. Dengan bantuan piranti lunak SSAT kita bisa memodelkan sistem uap dalam tiga kategori, yaitu: 1) *header*, 2) *header*, atau 3 *header* uap.

Pada model ini disediakan 18 jenis *project* optimasi sistem uap dan dampaknya akan diketahui, di antaranya adalah:

- meminimumkan kebutuhan uap
- *switching* bahan bakar
- peningkatan efisiensi boiler
- optimalkan laju alir *blowdown*
- implementasi *blowdown flash steam recovery* untuk membangkit uap tekanan rendah
- meng-*instal steam turbine* untuk menurunkan tekanan uap
- meng-*instal* penukar kalor pada *blowdown* boiler
- meningkatkan *recovery* kondensat
- melaksanakan manajemen pemeliharaan *steam trap* dengan baik
- meningkatkan sistem isolasi pipa uap dan kondensat

Gambar 6-25 memperlihatkan contoh model eksisting sistem distribusi uap pada suatu industri yang terdiri dari 3 *header uap*.

Dari model eksisting tersebut kemudian dilakukan optimasi dengan melakukan beberapa usaha peningkatan efisiensi energi, yaitu dengan beberapa cara, antara lain:

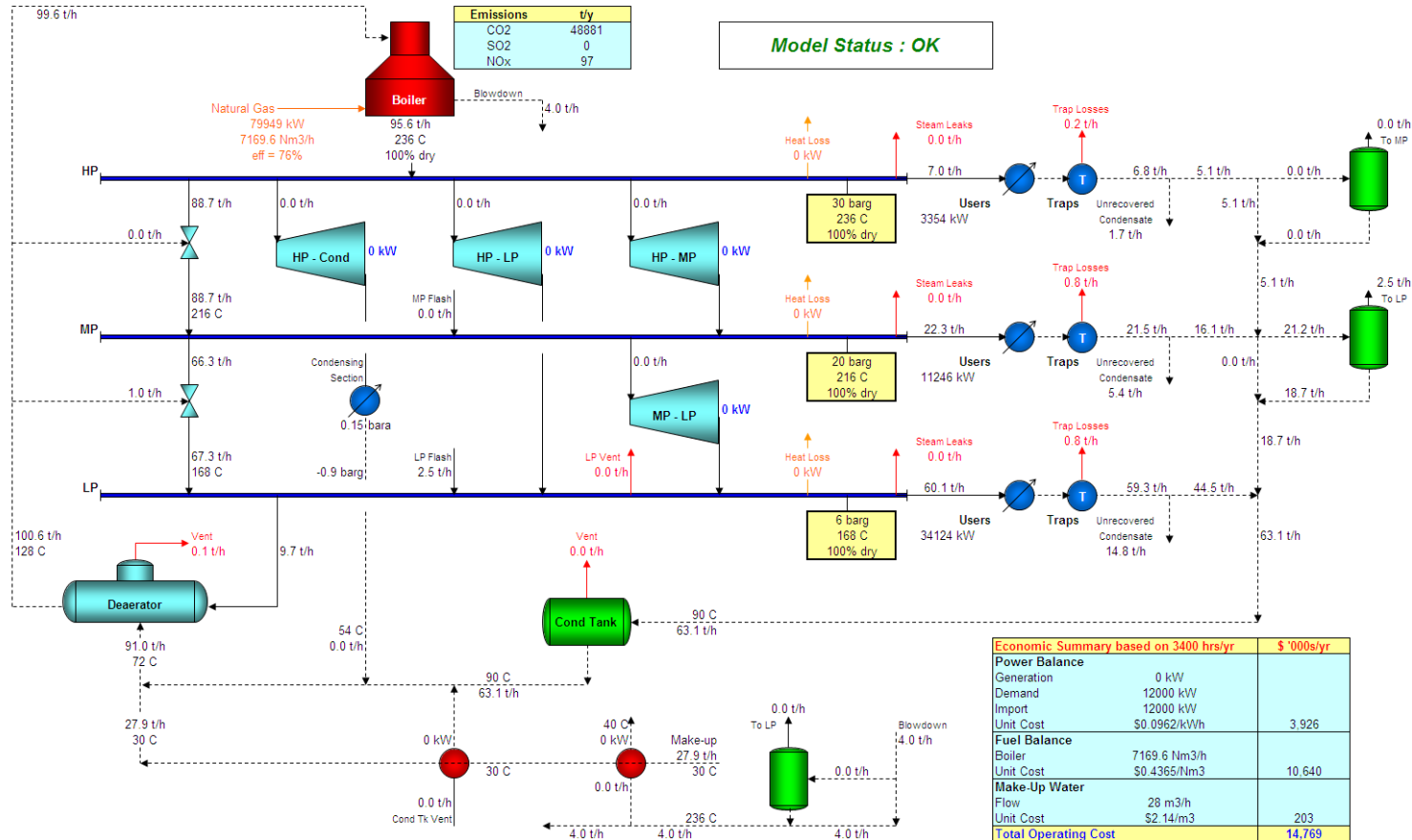
- Meningkatkan efisiensi boiler dari 76% menjadi 80%
- Meningkatkan *condensate recovery* dari 75% menjadi 90%
- *Setting* laju alir *blowdown* dari 4% menjadi 1%
- Perbaiki *steam trap* yang rusak
- Perbaiki isolasi pipa uap

Beberapa usaha optimasi tersebut kemudian di-*input*-kan ke dalam model eksisting sehingga setelah melakukan berbagai usaha penghematan energi tersebut model sistem *steam* akan menjadi seperti pada Gambar 6-26.

# Steam System Assessment Tool

## SSAT Default 3 Header Metric Model

# Current Operation

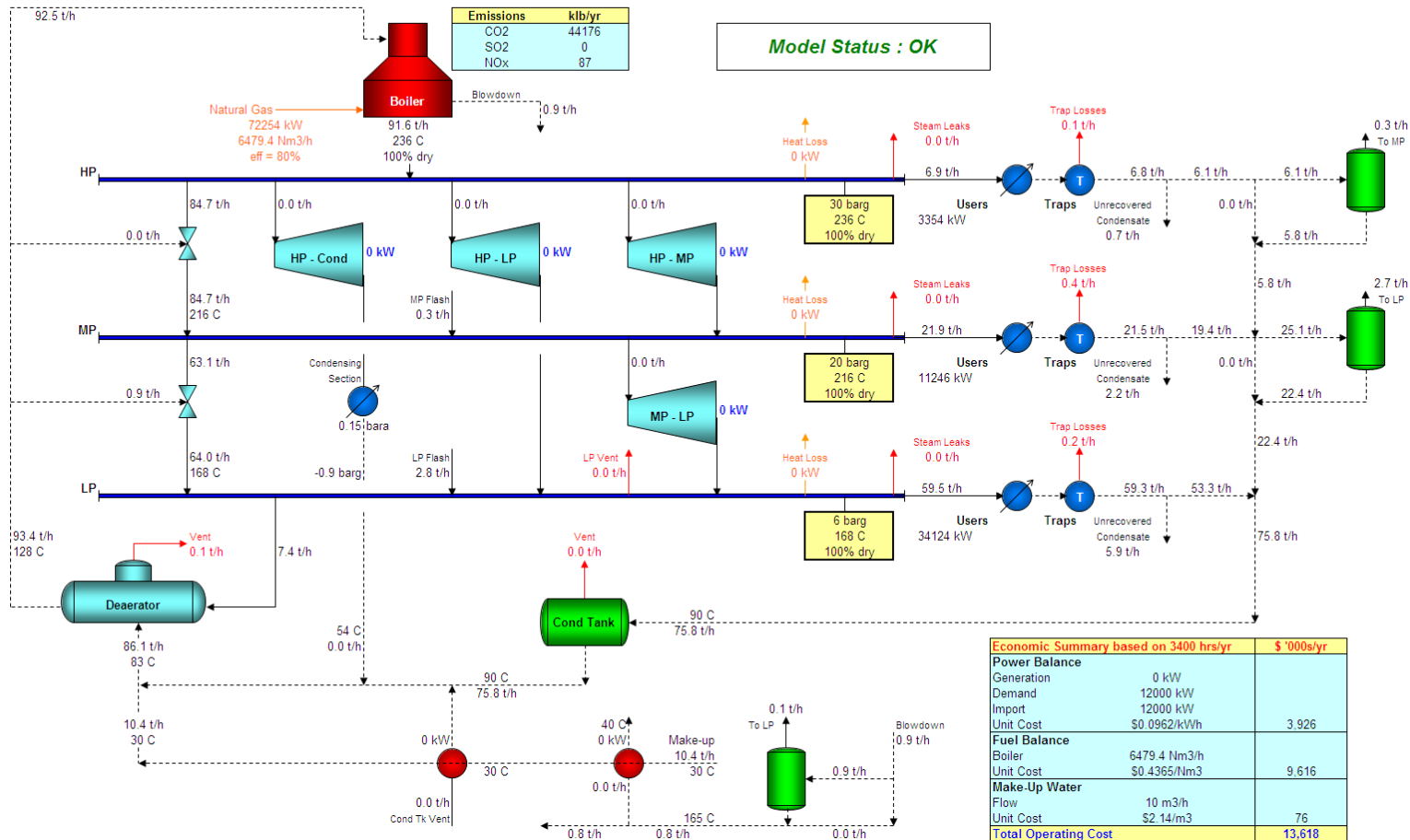


Gambar 6-25. Contoh Model Eksisting Sistem Distribusi Uap Pada Suatu Industri

## Steam System Assessment Tool

### SSAT Default 3 Header Metric Model

## Operation After Projects



Gambar 6-26. Contoh Optimasi Model Eksisting Sistem Distribusi Uap Pada Suatu Industri

Ringkasan hasil yang diperoleh dengan melakukan optimasi pada sistem uap ditunjukkan pada rangkuman Tabel 6-9. Total penghematan energi/biaya yang didapatkan dengan melakukan optimasi tersebut adalah sebesar 7,8%.

Tabel 6-9  
Ringkasan hasil kajian sistem uap  
(Model 3 Header)

SSAT Default 3 Header Metric Model

Model Status : OK

Cost Summary (\$ '000s/yr)	Current Operation	After Projects	Reduction	
Power Cost	3,926	3,926	0	0.0%
Fuel Cost	10,640	9,616	1,024	9.6%
Make-Up Water Cost	203	76	127	62.7%
Total Cost (in \$ '000s/yr)	14,769	13,618	1,151	7.8%

On-Site Emissions	Current Operation	After Projects	Reduction	
CO2 Emissions	48881 t/yr	44176 t/yr	4705 t/yr	9.6%
SOx Emissions	0 t/yr	0 t/yr	0 t/yr	N/A
NOx Emissions	97 t/yr	87 t/yr	9 t/yr	9.6%

Power Station Emissions	Reduction After Projects		Total Reduction	
CO2 Emissions	0 t/yr		4705 t/yr	-
SOx Emissions	0 t/yr		0 t/yr	-
NOx Emissions	0 t/yr		9 t/yr	-

Note - Calculates the impact of the change in site power import on emissions from an external power station. Total reduction values are for site + power station

Utility Balance	Current Operation	After Projects	Reduction	
Power Generation	0 kW	0 kW	-	-
Power Import	12000 kW	12000 kW	0 kW	0.0%
Total Site Electrical Demand	12000 kW	12000 kW	-	-
Boiler Duty	79949 kW	72254 kW	7696 kW	9.6%
Fuel Type	Natural Gas	Natural Gas	-	-
Fuel Consumption	7169.6 Nm3/h	6479.4 Nm3/h	690.2 Nm3/h	9.6%
Boiler Steam Flow	95.6 t/h	91.6 t/h	4.0 t/h	4.2%
Fuel Cost (in \$/MWh)	39.14	39.14	-	-
Power Cost (as \$/MWh)	96.23	96.23	-	-
Make-Up Water Flow	28 m3/h	10 m3/h	17 m3/h	62.7%

Turbine Performance	Current Operation	After Projects	Marginal Steam Costs	
HP to LP steam rate	Not in use	Not in use	(based on current operation)	
HP to MP steam rate	Not in use	Not in use	HP (\$/t)	32.84
MP to LP steam rate	Not in use	Not in use	MP (\$/t)	34.06
HP to Condensing steam rate	Not in use	Not in use	LP (\$/t)	36.41

### 6.5.8. Pengamatan *Best Practices* Pada Sistem Pembangkitan, Distribusi, dan Pengguna Uap

Beberapa usaha atau pola operasi yang baik yang telah dilakukan pada industri tersebut juga akan dipaparkan pada laporan hasil audit energi. Pemaparan ini akan memotivasi kepada pihak industri untuk lebih meningkatkan apa yang telah diraih selama ini. Beberapa contoh *best practice* yang biasa dilakukan pada sistem uap dapat diklasifikasikan berdasarkan areanya, yaitu pada: sistem pembangkitan uap, sistem distribusi uap, dan pengguna akhir uap.

#### 6.5.8.1. Pembangkitan Uap

- Meminimalkan udara berlebih
- Pemasangan peralatan pengambil kembali panas
- Pembersihan permukaan penukar panas boiler
- Meningkatkan pengolahan air untuk mengurangi *blowdown* boiler
- Pengambilan kembali energi dari *blowdown* boiler
- Penambahan/pemasangan kembali refraktori boiler
- Meminimalkan jumlah boiler yang beroperasi
- Optimasi laju pelepasan deaerator

#### 6.5.8.2. Distribusi Uap

- Meminimalkan uap yang dilepas (*vented*)
- Memastikan bahwa sistem perpipaan, katup-katup, sambungan-sambungan, dan bejana uap diisolasi dengan baik
- Isolasi uap dari jalur (pipa) yang tidak digunakan
- Meminimalkan aliran yang melalui stasiun pengurang tekanan
- Mengurangi kehilangan tekanan dalam *header*
- Kosongkan kondensat dari *header* uap

#### 6.5.8.3. Pengguna Akhir Uap

- Mengurangi penggunaan uap oleh sebuah proses
- Meningkatkan efisiensi proses
- Menggeser kebutuhan uap ke sumber-sumber limbah panas
- Mengurangi kebutuhan tekanan yang diperlukan oleh proses, terutama dalam sistem kogenerasi
- Memperbaiki uap tekanan rendah (atau limbah uap) untuk memasok kebutuhan proses
- Integrasi proses untuk menuju optimisasi energi secara keseluruhan di pabrik

### 6.5.9. Rekomendasi

Dari hasil analisis terhadap data dan pengamatan selama audit energi, maka auditor energi menyusun rekomendasi berupa beberapa potensi penghematan energi yang bisa diimplementasikan pada *plant* tersebut.

Contoh rekomendasi secara kuantitatif seperti pada Tabel 6-10.

Tabel 6-10  
Contoh rekomendasi secara kuantitatif

Potensi		Estimasi Penghematan Tahunan					Simple Pay Back, [tahun]
No	Rekomendasi Potensi	MWh	kW	GJ	CO <sub>2</sub> (Metric Ton)	Penghematan Biaya, [USD]	
1	Tidak mengoperasikan <i>package boiler</i> dan mengoptimalkan <i>HRSG Boiler</i>	0	0	36.040	1.910,12	375.428,68	0,44
2	Meningkatkan <i>recovery</i> kondensat	0	0	10.830	573,97	112.811,36	0,74
3	Mengganti <i>steam trap</i> yang tidak berfungsi	0	0	17.007	901,37	177.161,92	0,26
4	Pemanfaatan uap tekanan rendah untuk aplikasi <i>chiller</i> absorpsi pada proses produksi	2,190	250	0	1.357.800	196.187,50	2.12
Total		-	-	63.876,54	1.361.185,46	861.589,46	0,89

Selain rekomendasi yang bersifat kuantitatif, biasanya juga disusun rekomendasi yang bersifat kualitatif yang dapat ditindaklanjuti dengan beberapa informasi data dan pengamatan lebih lanjut.

Contoh rekomendasi kualitatif adalah sebagai berikut:

1. Kalibrasi secara berkala instrumentasi pengukuran seperti *pressure*, *thermometer*, dan *flowmeter*
2. Mengoptimalkan kinerja WHRB dan HRSG Boiler dengan menjaga tekanan *header* uap
3. Pengurangan kebocoran energi pada jalur distribusi dengan pemasangan isolasi pipa uap yang rusak dan pipa kondensat
4. *Monitoring* secara berkala efisiensi peralatan pengguna uap.

#### 6.5.10. Definisi Sistem Uap

**Million Metric British Thermal Units (MMBtu):** 1 Btu adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dari 1 lb air cair oleh 1 °F. MMBtu mengukur satu juta Btu.

**Enthalpy:** Total kandungan panas dari sistem. *Energi Dalam = Tekanan x Volume.*



**Fuel Moisture Content:** Jumlah kandungan air dalam bahan bakar, yang mempengaruhi pembakaran. Biasanya ditunjukkan sebagai persentase dari berat kering oven-bahan bakar.

**Radiation Losses:** Suatu nilai yang menggambarkan jumlah panas yang hilang dari boiler ke udara melalui konduksi, radiasi, dan konveksi.

**Flue Gas Losses:** Gas hasil pembakaran yang keluar di cerobong. Kehilangan terjadi karena: suhu gas yang tinggi, pembakaran yang belum selesai, kurangnya pasokan udara, kelembaban atau tingginya tingkat pembakaran.

**Blowdown Losses:** saat air dikeluarkan dari boiler disebut *blowdown*. *Blowdown* dilakukan untuk mempertahankan tingkat padatan terlarut yang diizinkan dan untuk menghilangkan lumpur. Biasanya ditunjukkan dalam persentase.

**Feedwater:** Air yang diumpankan ke boiler dari kedua sumber yaitu *make-up water* dan kondensat.

**Make-up Water:** Air yang ditambahkan ke umpan boiler sebagai pengganti air yang hilang karena *blowdown*, kebocoran, dan lain-lain.

**Return Condensate:** Saat perpindahan uap panas, akan terbentuk cairan yang disebut kondensat. Kondensat yang dikembalikan ke boiler dapat menghemat energi karena akan mengurangi *make-up water*.

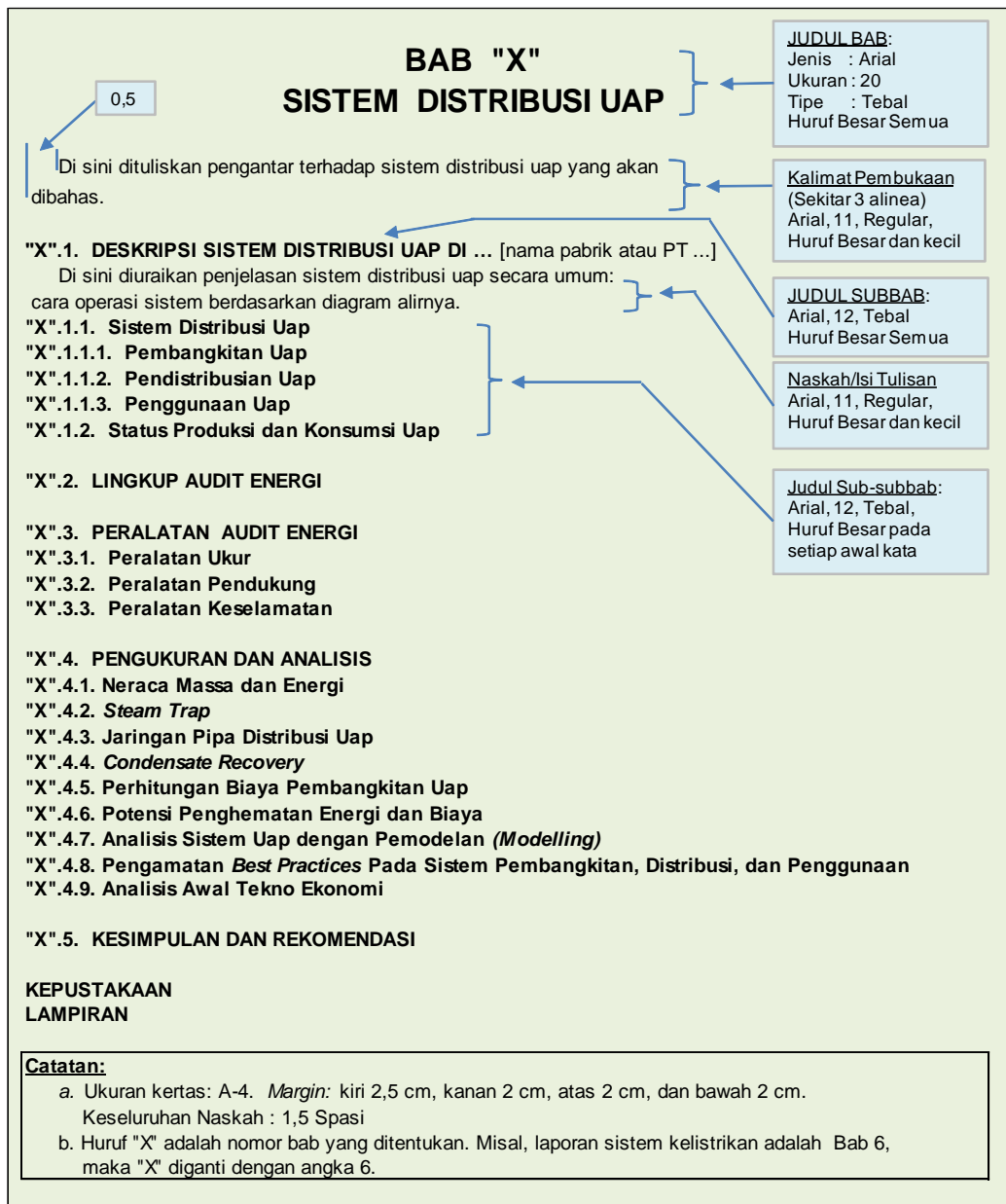
## 6.6. PENYUSUNAN LAPORAN

Penyusunan laporan audit energi pada sistem distribusi uap bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem distribusi uap merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem distribusi uap yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, diesel generator, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem distribusi uapnya saja yang diaudit.

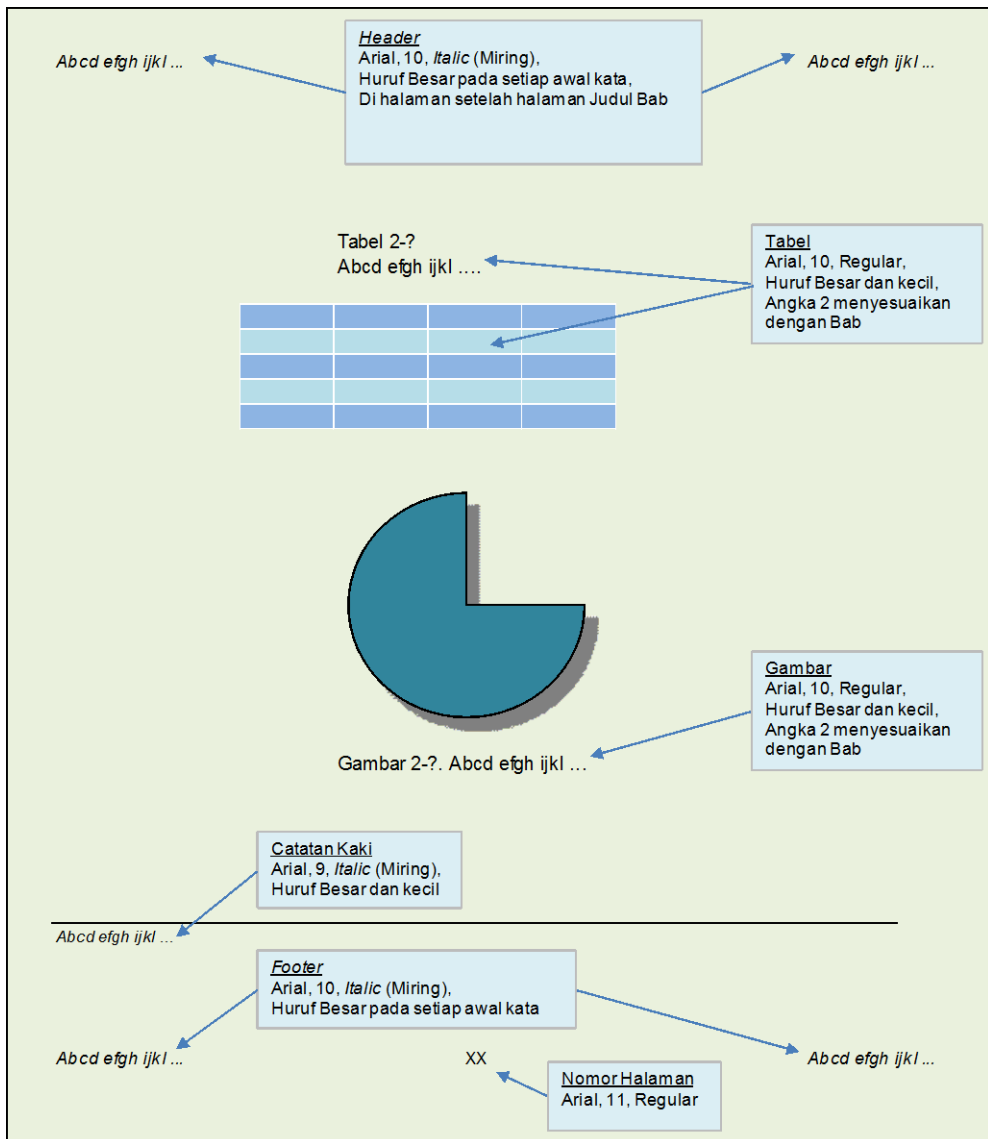
### 6.6.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem distribusi uap merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 6-27. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 6-28.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 6-27) adalah urutan bab pada sistem distribusi uap. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem distribusi uap berada pada urutan ke-6, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 6 atau VI. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 6 atau Bab VI Sistem Distribusi Uap.



Gambar 6-27. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem distribusi uap yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.



Gambar 6-28. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan - sesuai dengan Gambar 6-27 - meliputi:

a. Deskripsi atau Tinjauan Sistem Distribusi Uap

Di sini diuraikan hal-hal mengenai sistem distribusi uap di pabrik tersebut, mulai dari sisi “produsen” dalam hal ini boiler, dilanjutkan dengan jaringan distribusinya, hingga sisi “konsumen” yakni peralatan (utama) yang mengkonsumsi uap. Selain itu juga status konsumsi uap pada saat ini, dan beberapa lainnya.

- b. Lingkup Audit Energi pada Sistem Distribusi Uap  
Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.
- c. Peralatan Audit Energi  
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan dalam melakukan audit energi, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.
- d. Pengukuran dan Analisis  
Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam analisis adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya. Bila dipandang perlu, dilengkapi pula dengan analisis awal tekno ekonomi.
- e. Kesimpulan dan Rekomendasi  
Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.

### 6.6.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Distribusi Uap

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem distribusi-uapnya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan “tunggal”, yang hanya mengulas ikhwal sistem distribusi uap, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, analisis, hingga kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 6-29.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

- a. Kata Pengantar  
Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.
- b. Ringkasan Eksekutif  
Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.
- c. Pendahuluan  
Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.
- d. Deskripsi Sistem Distribusi Uap  
Uraianya dapat melihat butir a pada Subbab 6.6.1.
- e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Distribusi Uap  
Uraianya dapat melihat butir b pada Subbab 6.6.1.

- f. Peralatan Audit Energi  
Uraianya dapat melihat butir c pada Subbab 6.6.1.
- g. Pengukuran dan Analisis  
Uraianya dapat melihat butir d pada Subbab 6.6.1.
- h. Kesimpulan dan Rekomendasi  
Uraianya dapat melihat butir e pada Subbab 6.6.1.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
KATA PENGANTAR	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
RINGKASAN EKSEKUTIF		
BAB 1 PENDAHULUAN	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.1 Identitas Perusahaan		
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
BAB 2 DESKRIPSI SISTEM DISTRIBUSI UAP		
2.1 Sistem Distribusi Uap		
2.1.1. Pembangkitan Uap		
2.1.2. Pendistribusian Uap		
2.1.3. Penggunaan Uap		
2.2 Status Produksi dan Konsumsi Uap		
BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI SISTEM DISTRIBUSI UAP		
BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI		
4.1 Peralatan Ukur		
4.2 Peralatan Pendukung		
4.3 Peralatan K-3		
BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS		
5.1 Neraca Massa dan Energi		
5.2 <i>Steam Trap</i>		
5.3 Jaringan Pipa Distribusi Uap		
5.4 <i>Condensate Recovery</i>		
5.5 Perhitungan Biaya Pembangkitan Uap		
5.6 Potensi Penghematan Energi dan Biaya		
5.7 Analisis Sistem Uap dengan Pemodelan ( <i>Modelling</i> )		
5.8 Pengamatan <i>Best Practices</i> Pada Sistem Pembangkitan, Distribusi, dan Penggunaan		
5.9 Analisis Awal Tekno Ekonomi		
BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
KEPUSTAKAAN		
LAMPIRAN		

<p><b>Catatan:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin</i>: kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi</li> <li>b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.</li> <li>c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.</li> </ol>
---

Gambar 6-29. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem distribusi uap di industri.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. Book II, Chapter 3, Steam System. 2005. In *Guide Book-BUREAU of Energy Efficiency*. New Delhi.
- [2] Jain, V. 2013, Desember 23. *IPFonline Ltd*. Retrieved September 2014, from Industrial Products Finder (IPF). <http://www.ipfonline.com/IPFCONTENT/articles/technical-articles/five-sure-fire-ways-to-cut-steam-cost-by-20-1.php>
- [3] *Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada Industri Semen*. (2004, Desember). Retrieved 2014, from International Labour Organization (ILO). [www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed.../wcms\\_218617.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed.../wcms_218617.pdf)
- [4] *NAIMA, North American Insulation Manufacturers Association*. 2014. Retrieved Januari 22, 2015, from Ampersand Design, Inc. <http://www.naima.org/insulation-resources/installation-application/3e-plus-computer-program-ci219.html&keywords=plus>
- [5] Panggabean, L.M. (Ed). 1992. *Teknik Dasar Penghematan Energi di Industri*. . UPT-LSDE, BPP Teknologi, Serpong.
- [6] Spirax-Sarco Limited. 2013. *Steam System Services*. Retrieved 2014, from Spirax-Sarco Limited. [www.spiraxsarco.com/pdfs/sb/gcm\\_20.pdf](http://www.spiraxsarco.com/pdfs/sb/gcm_20.pdf)
- [7] *The Energy Efficiency Exchange (eex.gov.au)*. (n.d.). Retrieved Januari 22, 2015, from Australian Government Department of Industry and Science. <http://eex.gov.au/technologies/process-heating-and-steam-systems/technology-background-%E2%80%93-process-heat-boilers-and-steam-systems/>
- [8] U.S. Department of Energy. (n.d.). *Energy Efficiency & Renewable Energy*. Retrieved September 2014, from U.S. Department of Energy. [http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/tech\\_brief\\_true\\_cost.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/tech_brief_true_cost.pdf)



## BAB 7

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM INTEGRASI PROSES

Pratiwi  
Hariyanto

**7**al penting untuk dilakukan dalam pelaksanaan audit energi di industri adalah kajian di bidang integrasi proses. Terutama apabila di industri atau pabrik itu terdapat jaringan penukar panas (*heat exchanger network*) yang pada saat mendesainnya belum menyertakan penerapan metode integrasi proses.

Pada prinsipnya kajian integrasi proses di sini meliputi sistem atau peralatan-peralatan yang: membutuhkan panas, menghasilkan panas, dan mengalami kehilangan panas. Selain itu, kajiannya juga dapat mencakup suatu proses yang membutuhkan material namun sebenarnya material tersebut dapat diperoleh dari proses lainnya. Pada pelaksanaan kajiannya akan dikenalkan suatu aplikasi ilmu yang dikenal dengan sebutan teknologi *pinch*.

Dengan menyertakan kajian di bidang integrasi proses maka cakupan audit energi rinci di suatu pabrik menjadi semakin lengkap. Sebagaimana diketahui cakupan atau lingkup audit energi rinci di suatu pabrik jika disederhanakan meliputi 2 bidang: energi listrik dan termal. Selanjutnya pada saat audit energi dilaksanakan biasanya kedua bidang tersebut diterjemahkan menjadi bidang-bidang kajian pada peralatan atau sistem-sistem: kelistrikan, boiler, diesel-generator, turbin-generator, distribusi uap, dan peralatan proses (misalnya: evaporator, tanur/*furnace*), serta beberapa peralatan lainnya. Sedangkan kajian bidang integrasi proses sering belum disertakan.

Oleh karena itu ke depan bidang integrasi proses diharapkan dapat disertakan sebagai bagian dalam audit energi rinci. Atau pada kondisi tertentu kajian di bidang integrasi proses dapat dilakukan sebagai audit energi khusus atau tunggal.

## 7.1. DEFINISI INTEGRASI PROSES

Integrasi proses merupakan cabang penting dari rekayasa proses yang dimulai pada tahun 1970-an. Hal ini mengacu pada orientasi sistem, prinsip termodinamika, pendekatan terpadu dalam sintesis dan retrofit pada sebuah proses dalam *plant*.

Definisi integrasi proses pertama kali dicetuskan oleh IEA (*International Energy Agency*) yaitu “Metode sistematis dan umum untuk merancang sistem produksi terintegrasi, mencakup dari proses individual sampai dengan proses keseluruhan pada sebuah *plant* (pabrik), dengan penekanan khusus pada pendayagunaan energi dan pengurangan dampak lingkungan”.

Definisi ini kemudian diartikan menjadi: “Proses Integrasi adalah istilah umum yang digunakan untuk aplikasi metodologi yang dikembangkan untuk pendekatan orientasi dan integrasi sistem untuk desain pabrik proses industri baik untuk aplikasi baru dan retrofit. Metodologi tersebut dapat berupa model matematika, termodinamika dan ekonomi, metode dan teknik. Contoh metode ini termasuk: *Artificial Intelligence (AI)*, hirarkis, *Pinch*, dan Pemrograman Matematika. Integrasi Proses mengacu pada Desain Optimal; contoh aspeknya adalah: penanaman modal, efisiensi energi, emisi, pengoperasian, fleksibilitas, pengendalian, K3, dan hasil. Integrasi Proses juga mengacu pada beberapa aspek operasi dan pemeliharaan [Nordman, 2005].

Sedangkan menurut El-Halwagi MM, integrasi proses adalah pendekatan holistik untuk desain proses dan operasi yang menekankan kesatuan proses.

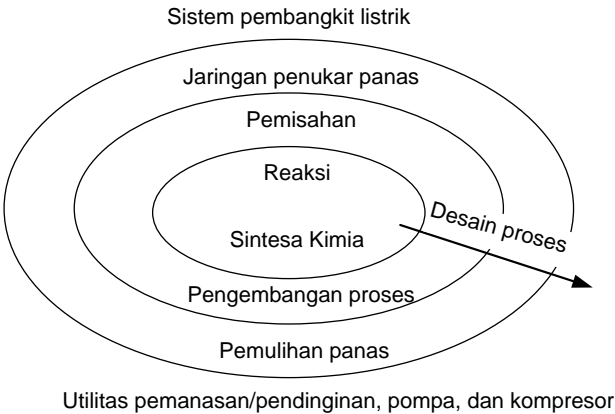
Integrasi proses dapat dikategorikan menjadi integrasi massa dan integrasi energi. Integrasi massa adalah pendekatan holistik untuk generasi, pemisahan, dan aliran arus komponen selama proses berlangsung atau metodologi sistematis yang memberikan pemahaman mendasar dari aliran massa global dalam proses dan penerapannya dalam mengidentifikasi dan mengoptimalkan target kinerja. Sedangkan integrasi energi merupakan pendekatan yang berhubungan dengan alokasi, generasi, dan pertukaran energi global selama proses berlangsung [Dunn & El-Hawagi, 2003].

Kelahiran Integrasi Proses sebagai aktivitas desain yang berorientasi pada sistem terkait dengan penemuan konsep yang disebut *Pinch Heat Recovery*. Metodologi *Pinch* ini dikembangkan pada akhir 1970-an dan awal 1980-an, yang mengakibatkan peralihan dari praktek desain tradisional yang didasarkan pada perluasan dan peningkatan teknologi proses menuju penggunaan operasi dan wawasan *engineering* (yaitu mengikuti “kurva belajar”) dan memilih desain terbaik dari serangkaian studi kasus. Tentu saja, akan ada penemuan dan terobosan yang memungkinkan perubahan, tetapi ketidakpastian apakah desain dapat lebih ditingkatkan dan seberapa banyak, masih menjadi pekerjaan rumah bagi desainer [Gundersen].

Selain itu integrasi proses ini berkembang juga dari adanya desain sistem reaktor, sistem pemisahan, dan sistem kontrol. Linnhoff [8] menunjukkan hirarki sintesis proses kimia dengan “*onion diagram*”, yang dimulai dengan desain sistem reaktor, diteruskan dengan sistem pemisahan, dan selesai dengan pembangunan jaringan

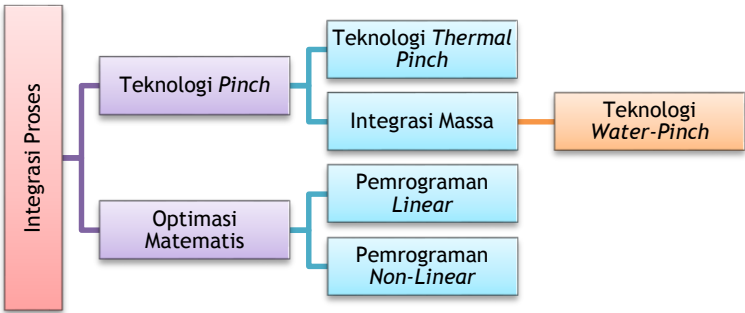


penukar panas (*heat exchanger network*). *Onion diagram* kemudian diperluas untuk mencakup utilitas dan sistem pembangkit listrik serta menjadi rangkaian penting bagi masyarakat [1]. Dengan perkembangan kapasitas perhitungan komputer (*computer calculation capacity* - CCC), Dhole [9] berpendapat bahwa strategi optimasi simultan dapat digunakan untuk meminimalkan total biaya (*annual cost*) pabrik [Nordman, 2005].



Gambar 7-1. *Onion diagram* untuk sintesa proses.

Jika dibuat semacam diagram, di dalam integrasi proses mencakup jaringan penukar panas dan massa yang didominasi oleh dua metode yaitu teknologi *pinch* dan optimasi matematis (Gambar 7-2).



Gambar 7-2. Metode untuk integrasi proses.

Gambar 7-2 menggambarkan penerapan konsep *pinch* untuk mengintegrasikan energi (misalnya, menargetkan konsumsi pemanasan-pendinginan-utilitas) dan massa (misalnya, sistem *recovery solvent* atau operasi pemakaian air), atau menggunakan pendekatan optimasi matematis (misalnya, meminimalkan debit pengolahan limbah dalam sistem pengolahan air limbah).

### 7.1.1. Konsep Dasar *Pinch*

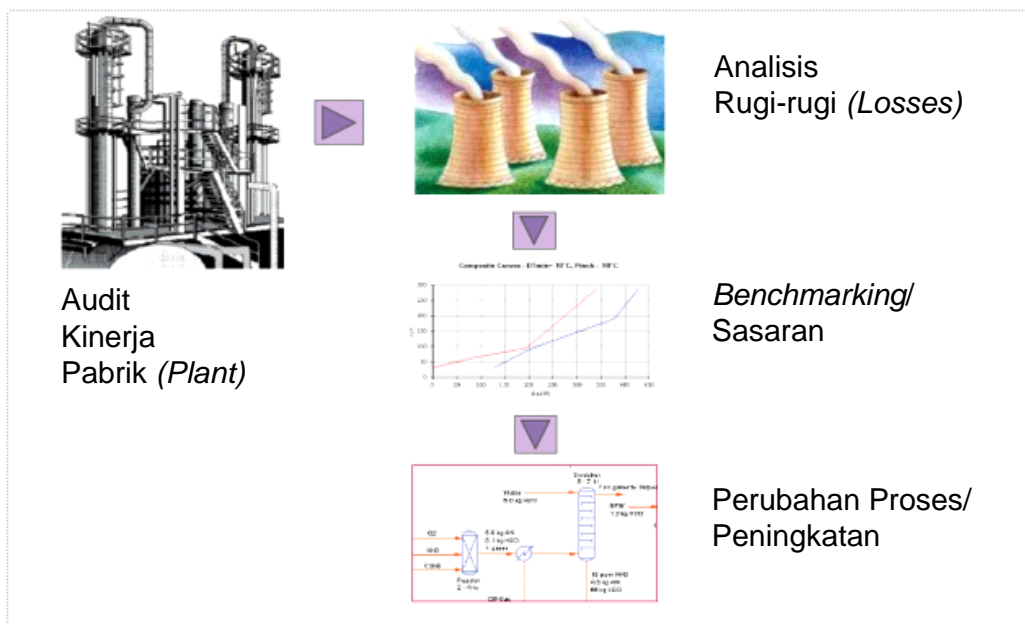
Perkembangan awal yang penting dari proses integrasi adalah teknologi *pinch* untuk integrasi panas. Di sini, masalah utamanya adalah untuk mensintesis atau *retrofit* jaringan penukar, pemanas, dan/atau pendingin untuk mentransfer kelebihan energi dari satu aliran panas untuk satu aliran dingin, atau aliran yang membutuhkan pemanasan.

Definisi lama, *Pinch*: teknik yang sistematis untuk desain yang optimal dan *retrofit* (perbaikan) sistem proses untuk *recovery* panas secara maksimum.

Definisi baru, *Pinch*: teknik yang sistematis untuk desain yang optimal dan *retrofit* (perbaikan) sistem proses untuk *recovery* panas dan air secara maksimum.

Sedangkan definisi saat ini dan yang akan datang: teknik holistik yang sistematis untuk perencanaan-perencanaan optimal, desain, dan *retrofit* dari sebuah sumber jaringan utilitas yang minimal.

Tahapan kunci analisis *pinch* berawal dari adanya audit kinerja sebuah pabrik yang mengidentifikasi *losses* yang terjadi, kemudian dilakukan *benchmarking* atau *targeting* yang melahirkan perbaikan pada proses (*process change & improvement*), seperti yang terlihat pada Gambar 7-3.



Gambar 7-3. Tahapan kunci analisis *Pinch*.

Berikut adalah penerapan *pinch* pada tingkatan masing-masing audit:

Pengembangan *Pinch* bermula dari adanya *heat recovery*, yang melibatkan:

→ Jumlah kebutuhan minimum proses pemanasan

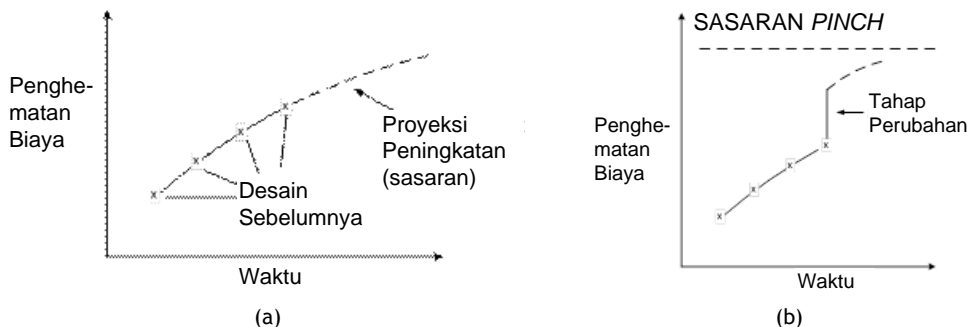
- Jumlah kebutuhan minimum proses pendinginan
  - Jumlah minimum *Heat Exchanger (HE)*
  - Jumlah minimum luas jaringan HE
  - *Driving force* yang optimum
  - Kombinasi utilitas yang optimum
  - Skema kogenerasi yang optimum
  - Konsumsi minimum pelarut/air/hidrogen
- [Manan, 2014]

Fase audit	Skema umum	Penghematan dan <i>pay-back</i> umum
Audit awal	Utilitas dan beberapa proses seperti boiler, sistem distribusi uap, isolasi, pengering, atau <i>chiller</i>	10 - 20%, tanpa investasi - 1 tahun
Audit rinci	Proses dan utilitas, perubahan parameter proses, panas, air, <i>recovery</i> sumber energi, dan optimasi (analisis <i>pinch</i> )	10 - 100%, tanpa investasi - 3 tahun
Audit dengan investasi/ audit khusus	Proses, interaksi utilitas, integrasi proses global, dan kogenerasi, dari <i>batch</i> sampai kontinyu	5 - 100%, 3 - 7 tahun

[Manan, 2014]

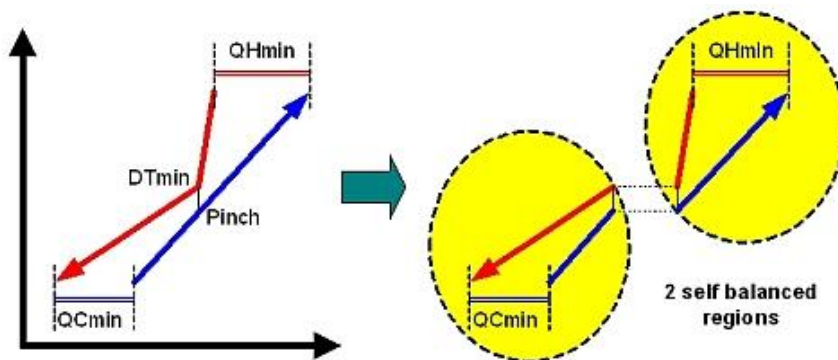
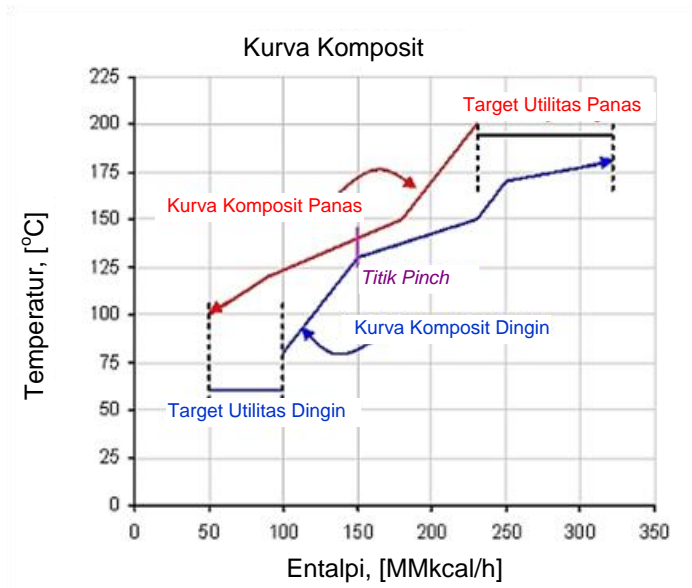
#### 7.1.1.1. *Heat Recovery* dan *Heat Exchanger*

Saat ini dalam mendesain sebuah proses didasarkan pada target yang melibatkan jumlah kebutuhan minimum proses pemanasan, proses pendinginan, *heat exchanger*, dan luas jaringan HE. Faktor kritis dalam target desain untuk sukses adalah berdasar performa yang telah berjalan, dan berdasar target *pinch*. Kedua perbedaan dasar tersebut dapat dilihat pada Gambar 7-4.



Gambar 7-4. Desain/*retrofit* berdasar performa yang sudah berjalan (a), Desain/*retrofit* berdasar target *Pinch* (b). [Manan, 2014]

Dalam menentukan target utilitas, perlu dibuat suatu grafik minimum target utilitas yang disebut dengan kurva komposit.



Gambar 7-5. Bentuk kurva komposit sederhana.

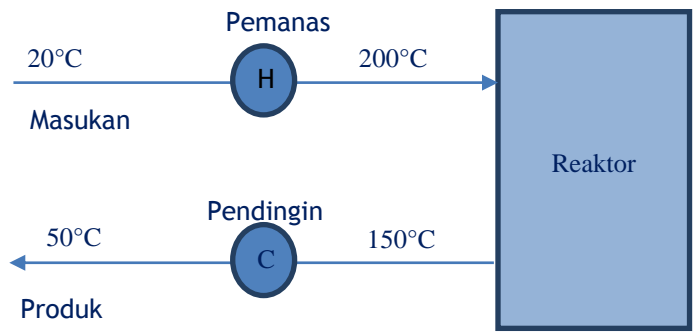
Kurva komposit (diagram T-H) dibangun dengan membagi sumbu absis suhu ke interval berdasarkan suplai dan target suhu aliran proses, dan menambahkan kontribusi entalpi (aliran panas) dan kebutuhan (aliran dingin) bersama-sama di setiap interval suhu. Akhirnya, entalpi ini ditarik secara kumulatif terhadap suhu yang sesuai, sehingga satu kurva untuk aliran panas dan satu kurva untuk aliran dingin.

Fenomena pertukaran panas dari satu media ke lainnya dikendalikan oleh aturan dasar yaitu:

- ✓ Panas akan selalu ditransfer dari produk panas ke produk dingin.
- ✓ Selalu ada perbedaan temperatur di antara produk

Panas yang hilang dari produk panas adalah sebanding dengan jumlah panas yang diambil oleh produk dingin, kecuali untuk energi yang hilang ke lingkungan sekitar.

Bayangkan terdapat suatu proses seperti Gambar 7-6. Ada reaktor kimia, yang digambarkan sebagai *black box*. Liquida dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanasi dari suhu *ambient* hingga suhu operasi reaktor. Sebaliknya, produk berupa liquida panas dari sistem separasi harus didinginkan ke suhu yang lebih rendah. Juga terdapat sejumlah panas yang dibutuhkan dan tidak tersedia untuk reaktor.



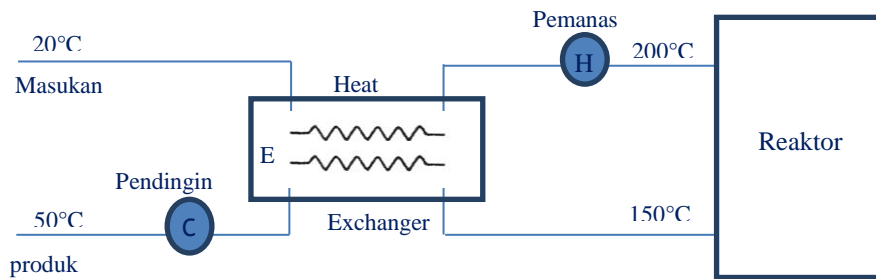
Gambar 7-6. Aliran proses sederhana [Kemp, 2007].

Setiap aliran yang harus dipanaskan atau didinginkan, tetapi tidak mengubah komposisi, didefinisikan sebagai aliran. Umpam dingin membutuhkan pemanasan, dikenal sebagai aliran dingin. Sebaliknya, produk panas yang harus didinginkan disebut aliran panas. Proses reaksi bukan merupakan aliran, karena melibatkan perubahan dalam komposisi kimia; dan aliran *make-up* juga bukan aliran, karena tidak dipanaskan atau didinginkan. Dari Gambar 7-6 dapat ditabelkan seperti tampak pada Tabel 7-1.

Tabel 7-1  
Data untuk 2 contoh aliran

	Laju alir massa	Kapasitas panas spesifik	Laju alir kapasitas panas	Suhu awal (masuk)	Suhu akhir (target)	Heat load
	W, [kg/s]	C <sub>p</sub> , [kJ/kgK]	CP, [kW/K]	T <sub>s</sub> , [°C]	T <sub>T</sub> , [°C]	H, [kW]
Aliran dingin	0,25	4	10	20	200	-180
Aliran panas	0,4	4,5	1,8	150	50	+180

Untuk melakukan pemanasan dan pendinginan, *steam heater* harus ditempatkan pada aliran dingin, dan *water cooler* pada aliran panas. Arus seperti yang diberikan dalam Tabel 7-1. Jelas, kita perlu untuk memasok pemanasan sebesar 180 kW dan pendinginan 180 kW untuk mengoperasikan proses. Sehingga dibutuhkan proses pertukaran panas yang digambarkan seperti tampak pada Gambar 7-7.



Gambar 7-7. Aliran proses sederhana dengan pertukaran panas [Kemp, 2007].

Bisakah kita mengurangi konsumsi energi? Ya. Jika kita dapat *recovery* panas dari aliran panas dan menggunakannya untuk memanaskan aliran dingin dalam *heat exchanger*, kita akan membutuhkan sedikit uap dan air untuk memenuhi tugas yang tersisa. Susunan diagram alir kemudian menjadi seperti pada Gambar 7-7. Idealnya, tentu saja, kita ingin *recovery* semua 180 kW pada aliran panas untuk memanaskan arus dingin. Namun, hal ini tidak mungkin karena keterbatasan suhu. Dengan Hukum Kedua Termodinamika, kita tidak bisa menggunakan aliran panas pada 150 °C untuk memanaskan aliran dingin pada 200 °C (Seperti dalam laporan informal Hukum Kedua, "Anda tidak bisa merebus ketel di atas es"). Jadi pertanyaannya adalah, berapa banyak panas yang dapat kita *recover*, seberapa besar seharusnya *exchanger*, dan berapa suhu di sekitarnya?

Sehingga dapat dikatakan, teknologi *pinch* untuk integrasi panas terbagi ke dalam tiga pokok tugas yaitu:

- ✓ Mengidentifikasi target desain, seperti konsumsi minimum utilitas (*steam*, air pendingin, dan lain-lain), jumlah minimum unit pertukaran panas (*exchanger*, pemanas, dan/atau pendingin), luas permukaan minimum unit pertukaran panas, dan lain-lain.
- ✓ Sintesis. Merancang jaringan penukar panas yang mencapai target desain.
- ✓ *Retrofit*. Memodifikasi proses yang ada untuk memaksimalkan penggunaan proses-ke-proses pertukaran panas dan meminimalkan penggunaan utilitas eksternal melalui perubahan proses yang efektif.

### 7.1.1.2. Perpindahan Massa

Sebuah perkembangan terbaru dalam teknologi *pinch* yang berhubungan dengan pencegahan polusi, *recovery* sumber daya, pengurangan limbah, dan lain-lain merupakan integrasi massa. El-Halwagi (1997), dalam bukunya, *Pencegahan Pencemaran Melalui Proses Integrasi Alat Desain Sistematis*, memberikan definisi sebagai berikut: "integrasi massa adalah metodologi sistematis yang memberikan pemahaman mendasar dari aliran massa global dalam proses manufaktur dan menerapkan pemahaman holistik ini dalam mengidentifikasi target performa dan mengoptimalkan generasi dan *routing* spesies melalui proses".

Singkatnya, penukar massa adalah setiap kontak langsung di mana satuan transfer massa yang berlawanan arah (*counter-current*) menggunakan agen pemisah massa (*Mass Separating Agent/MSA*). Operasi perpindahan massa mencakup penyerapan, adsorpsi, pertukaran ion, *leaching*, ekstraksi pelarut, *stripping*, dan proses serupa. Sedangkan MSA mencakup pelarut, adsorben, resin pertukaran ion, dan *stripping agent*. Sebuah tinjauan pengembangan dan aplikasi jaringan pertukaran massa (*Mass Exchange Network/MEN*) antara tahun 1989 dan 1997 muncul pada saat El-Halwagi (1997).

Integrasi pertukaran massa melibatkan transfer massa dari aliran proses pekat (penurunan konsentrasi) dengan menggunakan MSA proses (peningkatan konsentrasi dengan biaya operasional kecil) sehingga setiap aliran mencapai konsentrasi keluaran yang diinginkan, dan meminimalkan produksi limbah dan konsumsi utilitas (termasuk *fresh water* dan MSA eksternal). El-Halwagi dan rekan-rekan kerjanya memperluas teknologi *pinch* untuk merancang dan memperbaiki (*retrofit*) jaringan pertukaran massa untuk mencapai target debit minimum pada aliran utilitas eksternal (MSA eksternal).

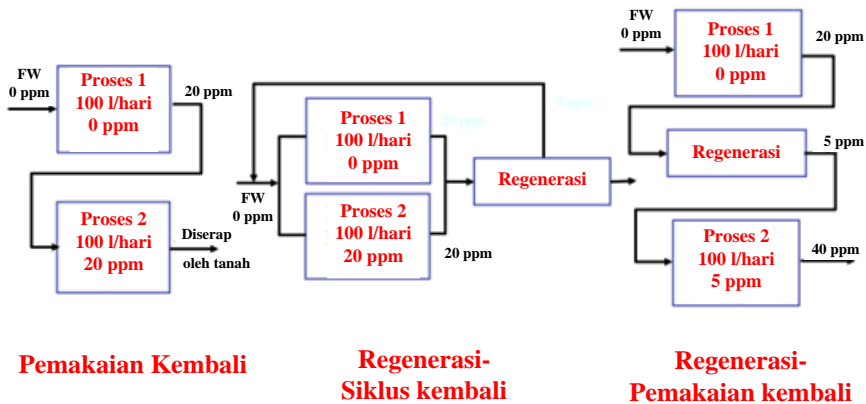
Dalam penerapan jaringan pertukaran massa ini melibatkan beberapa hal, yaitu:

- ✓ Berapakah jumlah maksimum MSA proses yang dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari aliran proses kaya kontaminan dengan biaya operasional kecil?
- ✓ Berapakah debit minimum MSA eksternal yang diperlukan untuk menghilangkan kontaminan yang tidak terekstrak oleh MSA proses dan dalam hal apa beberapa MSA eksternal harus digunakan?
- ✓ Bagaimana kita merancang jaringan pertukaran massa baru, atau *retrofit* jaringan yang ada, untuk memenuhi target tersebut?
- ✓ Bagaimana seharusnya kita mengubah proses manufaktur untuk memaksimalkan penggunaan MSA proses dan meminimalkan penggunaan MSA eksternal?

Seperti halnya jaringan penukar panas, dalam jaringan penukar massa, kita membagi teknologi menjadi tiga tugas:

- Mengidentifikasi konsumsi maksimum proses MSA dan konsumsi minimum MSA eksternal;
- Sintesis. Merancang jaringan penukar massa yang mencapai target debit untuk proses MSA dan MSA eksternal;
- *Retrofit*. Memodifikasi jaringan penukar massa yang ada untuk memaksimalkan penggunaan proses MSA dan meminimalkan penggunaan MSA eksternal melalui perubahan proses yang efektif.

Error! Reference source not found. Gambar 7-8 menunjukkan salah satu contoh diagram jaringan pertukaran massa yaitu penggunaan dan *recycle* air yang dibuat oleh Wang & Smith (1994). Hal ini lalu melahirkan teknologi *Water-Pinch* yang secara prinsip sama dengan teknologi *Pinch* untuk panas. Dalam teknologi *Water-Pinch* ini memaksimalkan penggunaan air dan meminimalkan air limbah.



Gambar 7-8. Strategi penggunaan dan *recycle* air. (Manan, 2014).

### 7.1.2. Optimasi Matematis

Teknik optimasi matematis adalah alat yang efektif untuk meminimalkan fungsi objektif (misalnya, total biaya konsumsi *fresh water* dan pengolahan air limbah) terhadap batasan hubungan antara variabel independen. Pemrograman linier adalah alat yang ampuh untuk mampu menemukan nilai minimum subjek fungsi objektif linier terhadap batasan linier, sementara pemrograman nonlinier berguna untuk meminimalkan subjek fungsi objektif nonlinier terhadap batasan nonlinier.

Optimasi matematis telah diterapkan untuk melengkapi konsep *pinch*. Sebagai contoh, jaringan penukar panas yang kompleks mungkin lebih baik dirancang dengan meminimalkan biaya subjek terhadap batasan yang mengatur desain jaringan. Kedua teknik pemrograman linier dan nonlinier sangat tepat untuk menangani masalah penggunaan air *recycle* dan air limbah. Di sini, sistem multi-kontaminan yang besar dan operasi pemakaian air mungkin tidak sesuai dengan konsep *pinch*. Secara khusus, pengembangan model nonlinier ditujukan untuk mewakili proses regenerasi, batasan debit (misalnya, debit tetap), dan beberapa kontaminan.

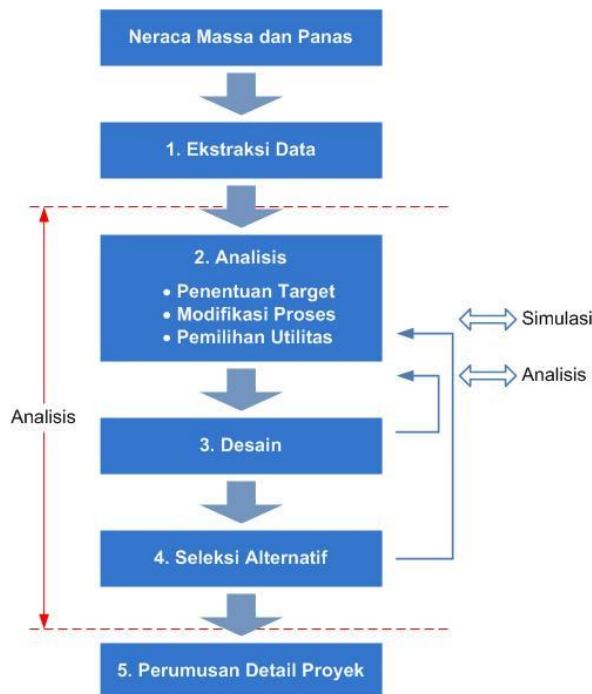
### 7.1.3. Tahapan Analisis *Pinch*

Tahapan Analisis *Pinch* mengikuti alur berikut:

- ✓ Membuat neraca massa dan energi
- ✓ Melakukan ekstraksi data, yaitu data termodinamika seperti kapasitas panas spesifik, viskositas, densitas, dan lain-lain
- ✓ Target
- ✓ Modifikasi proses
- ✓ Pemilihan utilitas
- ✓ Desain jaringan
- ✓ Pemilihan alternatif
- ✓ Perincian proyek



Atau bisa dilihat pda Gambar 7-9.



Gambar 7-9. Tahapan kunci *Pinch*.

Dari ekstraksi data, dihitung perubahan entalpi masing-masing aliran dengan persamaan:

$$\Delta H = m \cdot cp \cdot \int_{T_S}^{T_T} dT = CP(T_T - T_S) \quad 1)$$

Keterangan:

- $\Delta H$  : total perubahan entalpi, [kJ]
- $m$  : aliran massa, [kg]
- $cp$  : kapasitas panas spesifik, [kJ/kg °C]
- $T_T$  : temperatur akhir (target), [°C]
- $T_S$  : temperatur awal (source), [°C]
- $CP$  : entalpi spesifik, [kJ/kg]

Untuk ekstraksi data manual, ikuti pedoman berikut:

- a) jangan mengambil semua fitur diagram alir konseptual atau desain eksisting;
- b) Jangan mencampur semua aliran dengan temperatur yang berbeda;
- c) jangan memasukkan utilitas sebagai data aliran;
- d) jangan menerima data yang masih bersifat dugaan;
- e) jangan mengabaikan hambatan praktis yang sudah ada;
- f) bedakan antara data dari *software* dan data fisik.

[Gundersen]

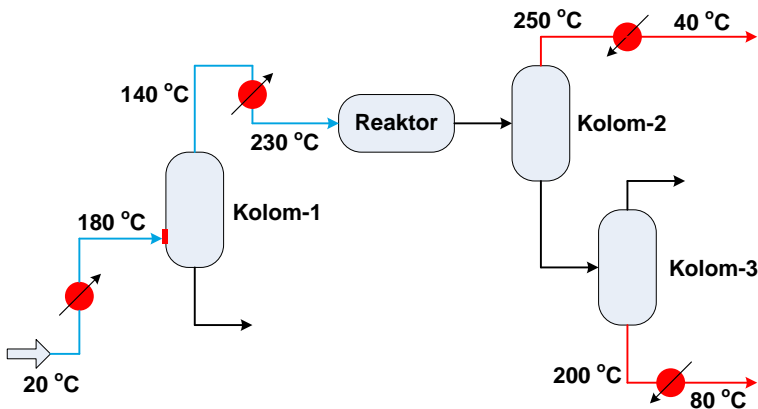
Dalam integrasi proses, hanya ada dua jenis aliran seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, yaitu aliran panas yang akan didinginkan atau dikondensasi yang biasa disebut dengan *heat source*, dan aliran dingin yang akan dipanaskan atau diuapkan yang biasa disebut dengan *heat sink*. Persamaan di atas menjadi:

$$\Delta H_h = CP_h \cdot (T_{s,h} - T_{t,h}) \text{ dan } \Delta H_c = CP_c \cdot (T_{s,c} - T_{t,c}) \tag{2}$$

Keterangan:

h adalah aliran panas (*hot*),  
c adalah aliran dingin (*cold*).

Untuk proses *heat recovery*, bisa diambil contoh diagram pada Gambar 7-10:



Gambar 7-10. Proses produksi sederhana.

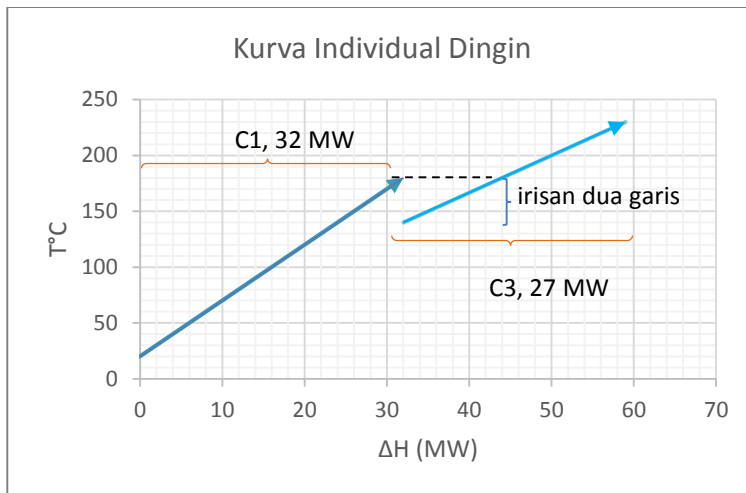
Kemudian lakukan target performa, dengan memetakan setiap aliran menjadi sebuah tabel seperti pada Tabel 7-2.

Tabel 7-2  
Target

Aliran	Tipe aliran	T <sub>awal</sub> ( °C)	T <sub>akhir</sub> ( °C)	FCp (MW/K)	FCpΔT (MW)
1	Dingin	20	180	0,20	32
2	Panas	250	40	0,15	-31,5
3	Dingin	140	230	0,30	27
4	Panas	200	80	0,25	-30

[Manan] (hal 86)

Setelah membuat Tabel 7-2, tahap selanjutnya adalah membuat plot kurva komposit yang terdiri atas entalpi (H) pada sumbu absis dan temperatur pada sumbu ordinat seperti pada Gambar 7-11.



Gambar 7-11. Kurva Individual Dingin.

Untuk membuat kurva individual menjadi komposit maka kedua garis aliran harus digabung menjadi satu garis aliran.

Dari kurva individual dingin di atas, dapat dilihat bahwa  $\Delta H$  total keduanya adalah 59 MW (= 32+27), dan terjadi irisan pada titik suhu 140 - 180 °C. Adanya irisan tersebut bisa digabungkan dengan membuat diagonal dari kedua garis (resultan), dengan perhitungan seperti Tabel 7-3.

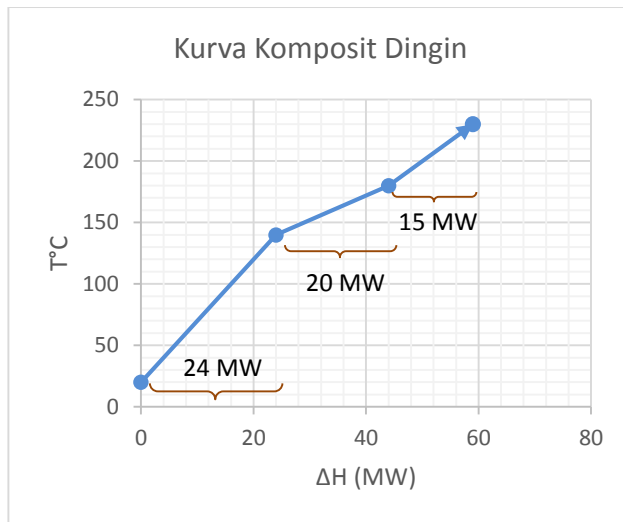
Tabel 7-3  
Target irisan aliran dingin

Aliran	Tipe aliran	$T_{awal}$ (°C)	$T_{akhir}$ (°C)	$FCp$ (MW/K)	$FCp\Delta T$ (MW)
1	Dingin	140	180	0,20	8
3	Dingin	140	180	0,30	12
				Total	20

Dari perhitungan Tabel 7-3, aliran nomor 1 (C1) berkurang 8 MW, sehingga yang awalnya 32 MW menjadi 24 MW, dan aliran nomor 3 (C3) berkurang 12 MW, sehingga yang awalnya 27 MW menjadi 15 MW.

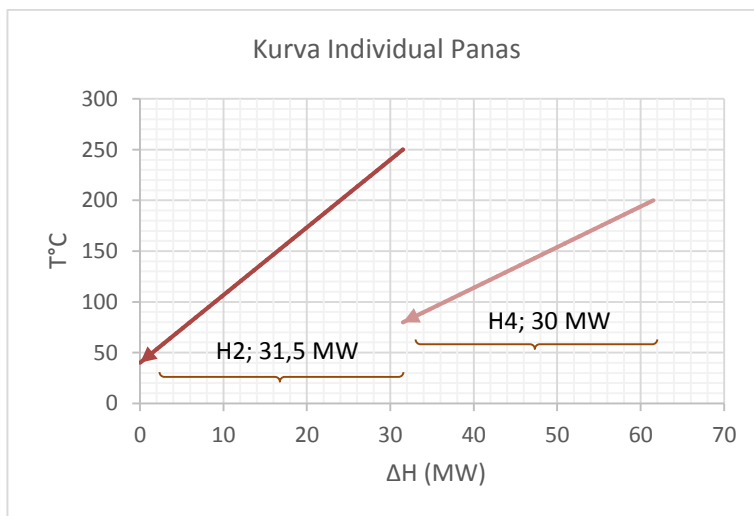
Setelah didapatkan nilai garis diagonal 20 MW, maka diplot kembali sehingga menjadi kurva komposit. Karena aliran hanya gabungan dari aliran dingin, kurva ini disebut sebagai kurva komposit dingin.

Tanda panah ke atas artinya membutuhkan panas. Sesuai pengertian awal bahwa aliran dingin membutuhkan panas.



Gambar 7-12. Kurva Komposit Dingin.

Begitu juga dengan aliran panas, dibuat serupa seperti aliran dingin di atas.



Gambar 7-13. Kurva Individual Panas.

Dari kurva individual panas pada Gambar 7-13, sama halnya seperti pada kurva individual dingin dapat dilihat bahwa  $\Delta H$  total keduanya adalah 61,5 MW (31,5+30), dan terjadi irisan pada titik suhu 80 - 200 °C. Model irisan kedua garis ini adalah garis H4 berada di dalam H2. Adanya irisan tersebut bisa digabungkan dengan membuat diagonal dari kedua garis (resultan), dan tetap memunculkan garis terluar dari H2, dengan perhitungan pada Tabel 7-4.

Tabel 7-4  
Target irisan aliran panas

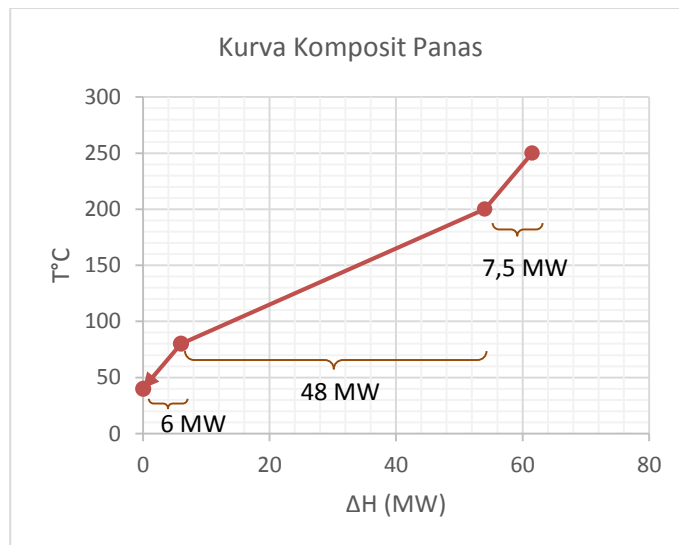
Aliran	Tipe aliran	T <sub>awal</sub> (°C)	T <sub>akhir</sub> (°C)	FCp (MW/K)	FCpΔT (MW)
2	Panas	200	80	0,15	18
4	Panas	200	80	0,25	30
				Total	48

Dari perhitungan Tabel 7-4 aliran nomor 2 (H2) berkurang 18 MW, sehingga yang awalnya 31,5 MW menjadi 13,5 MW, dan aliran nomor 4 (H4) berkurang 30 MW, sehingga awalnya 30 MW menjadi 0 MW, ini berarti garis H4 seolah-olah berada di dalam garis H2. Maka sisa garis H2 dapat dilihat pada Tabel 7-5.

Tabel 7-5  
target irisan aliran panas (2)

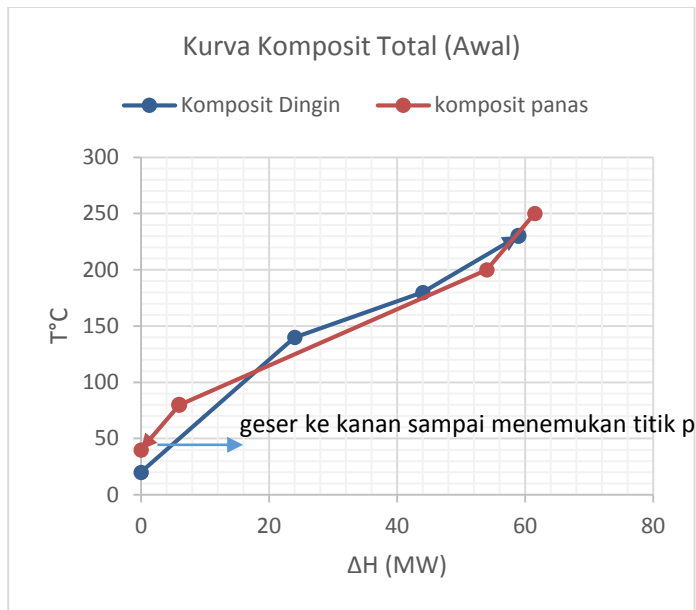
Aliran	Tipe aliran	T <sub>awal</sub> (°C)	T <sub>akhir</sub> (°C)	FCp (MW/K)	FCpΔT (MW)
2	Panas	250	200	0,15	7,5
2	Panas	80	40	0,15	6

Setelah didapatkan nilai garis diagonal 48 MW, maka di-plot kembali sehingga menjadi kurva komposit. Karena aliran hanya gabungan dari aliran panas, kurva ini disebut sebagai kurva komposit panas.



Gambar 7-14. Kurva Komposit Panas

Dari kedua kurva komposit pada Gambar 7-11 dan Gambar 7-13, maka di-plot dalam satu grafik, menjadi kurva komposit total awal. Dinamakan awal karena belum di titik *Pinch*-nya ( $\Delta T$  minimal belum dicari).



Gambar 7-151. Kurva Komposit Total (Awal, sebelum ditemukan titik *Pinch*).

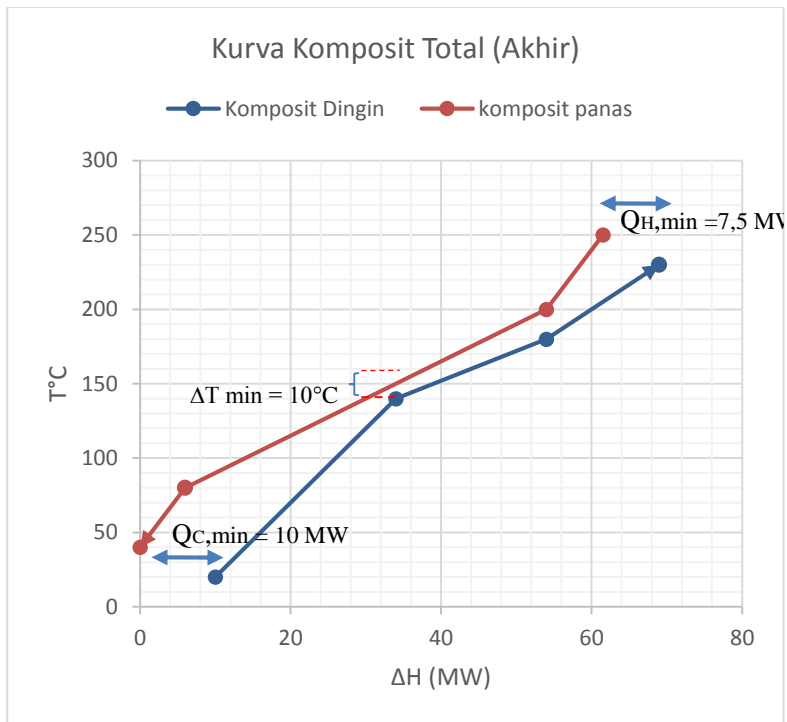
Terlihat pada Gambar 7-15, kurva komposit panas berpotongan dengan kurva komposit dingin, hal ini dinamakan *cross curve*. Untuk mencari titik *pinch*, salah satu kurva yaitu kurva komposit dingin digeser ke kanan searah sumbu X sampai menemukan  $\Delta T$  minimal sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ . Atau bisa dengan menggeser kurva komposit panas ke kiri searah sumbu X sampai menemukan  $\Delta T$  minimal sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ . Perlu diingat, letak kurva komposit panas harus berada di atas kurva komposit dingin.

$\Delta T$  minimal yang dimaksud adalah jarak terdekat antara kedua kurva yang diwakili oleh 2 buah titik dengan nilai minimal  $10^{\circ}\text{C}$  (jarak keduanya searah terhadap sumbu Y).

Setelah didapatkan  $\Delta T$  minimal, maka diperoleh titik *Pinch* panas (*Hot Pinch*) yaitu  $150^{\circ}\text{C}$ , dan titik *Pinch* dingin (*Cold Pinch*) yaitu  $140^{\circ}\text{C}$ .

Dari Gambar 7-15 dapat dihitung selisih batas bawah kurva komposit panas dan dingin yang disebut dengan  $Q_c$  atau besaran energi yang diperlukan untuk pendinginan (*external cooling duty*). Sedangkan selisih batas atas kurva komposit panas dan dingin yang disebut dengan  $Q_h$  atau besaran energi yang dibutuhkan untuk pemanasan (*external heating duty*).

Jumlah  $Q_h$  dan  $Q_c$  dihitung berdasarkan selisih titik Sumbu X antara kurva komposit panas dan dingin.



Gambar 7-16. Kurva Komposit Total (Akhir, dengan  $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$ )

#### 7.1.4. Modifikasi Proses

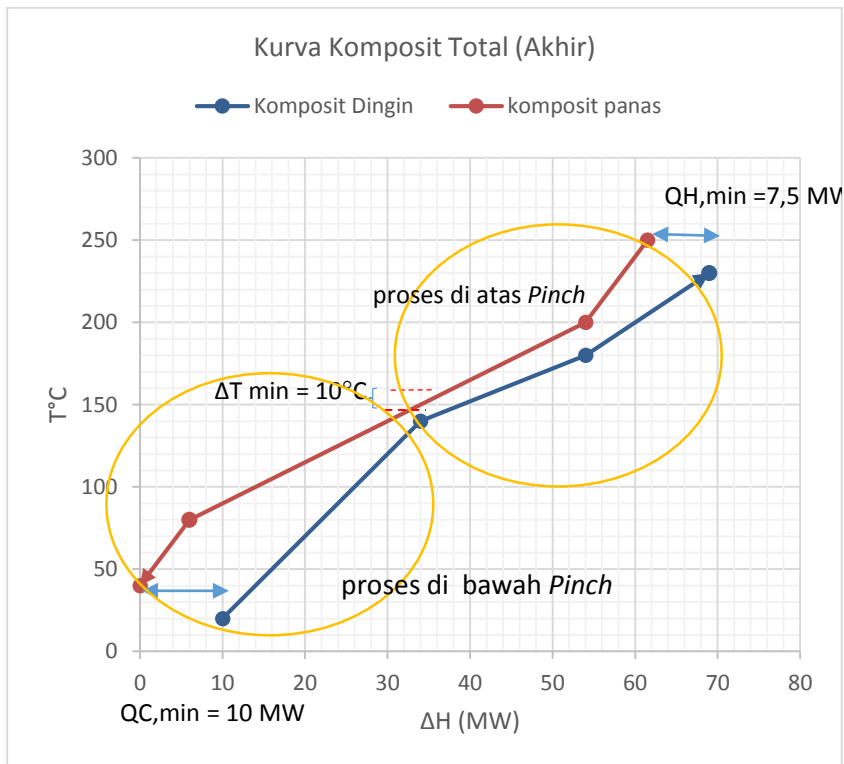
Sebelum melakukan desain jaringan, perlu dilakukan modifikasi proses yang melibatkan perubahan parameter operasi dalam proses itu sendiri, yaitu:

- ✓ menurunkan tekanan, sehingga temperatur titik didih evaporator (aliran dingin) bergeser dari atas ke bawah titik *Pinch*
- ✓ membagi evaporator ke dalam beberapa *stage* dalam satu rangkaian (contoh: *multiple effect evaporator*)
- ✓ menurunkan tekanan operasi kolom distilasi untuk menggeser reboiler (aliran dingin) dari atas ke bawah titik *Pinch*
- ✓ menaikkan tekanan kolom distilasi untuk menggeser kondenser (aliran panas) dari bawah ke atas titik *Pinch*
- ✓ mengubah *reflux* kolom distilasi
- ✓ mengubah pemanasan atau pendinginan awal pada aliran masuk kolom distilasi
- ✓ mengubah kondisi operasi reaktor

Setelah melakukan modifikasi proses, maka dibuat kembali *heat cascade* yang baru.

### 7.1.5. Desain Jaringan

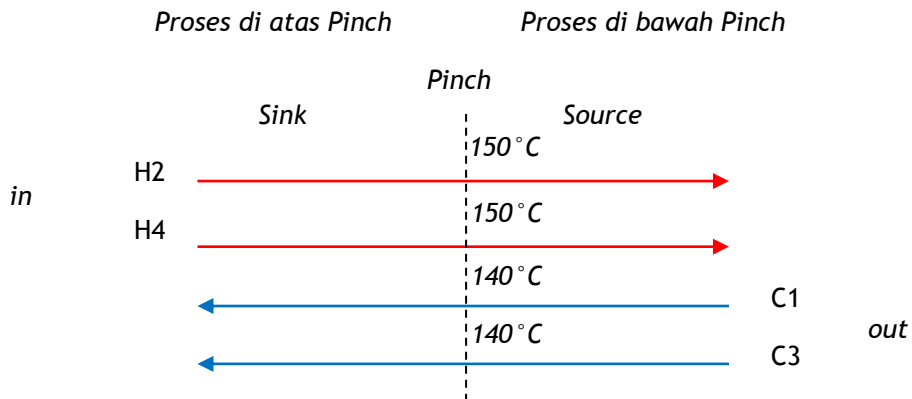
Langkah selanjutnya setelah mendapatkan titik *Pinch* adalah desain jaringan penukar panas (*Heat Exchanger Network Design* = HEN-D). Desain jaringan penukar panas (HEN-D) merupakan prosedur menggabungkan dua aliran panas dan dingin dengan tujuan saling transfer dan mengoptimalkan energi sehingga hanya memerlukan sedikit tambahan energi (baik pemanasan atau pendinginan). Untuk itu mari kita telaah dulu kurva komposit pada Gambar 7-15 dan melihatnya secara terpisah antara proses di atas *Pinch* dan di bawah *Pinch*.



Gambar 7-17. Kurva Komposit Akhir

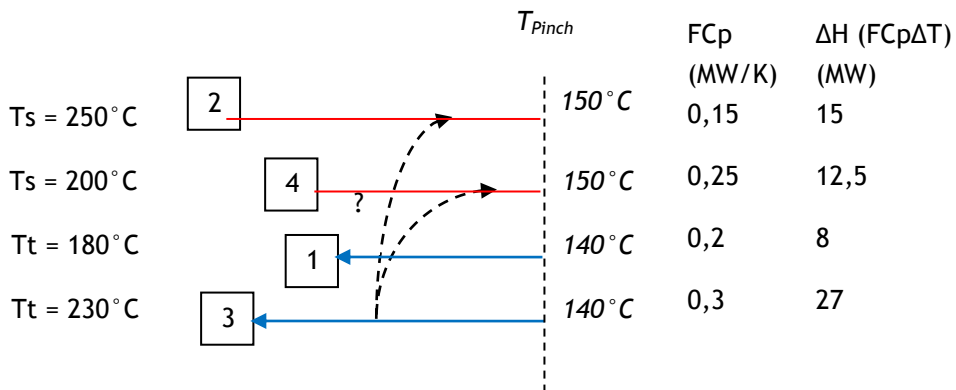
Dari Gambar 7-16 di atas mari kita pisahkan menjadi diagram seperti pada Gambar 7-18.





Gambar 7-18. Diagram *grid* untuk HEN-D

Untuk aliran di atas *Pinch* ataupun di bawah *Pinch*, aliran manakah yang sebaiknya harus dipasangkan? Atau mulai darimana kita melihat aliran itu bisa dipasangkan?



Gambar 7-19. Diagram *grid* untuk proses di atas Pinch

Aturan untuk memperoleh *heat exchanger* yang layak, adalah:

$$\text{Nilai } FCp_{out} > FCp_{in} \quad 3)$$

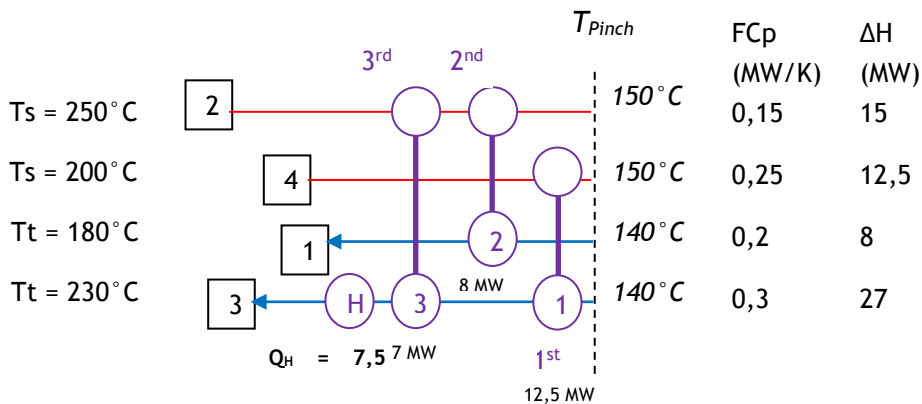
[Manan, 2014]

Dari Gambar 7-19 bisa kita lihat bahwa aliran nomor 1 bisa dipasangkan dengan aliran nomor 2 ( $0,2 > 0,15$ ), dan aliran nomor 3 bisa dipasangkan dengan aliran nomor 4 ( $0,3 > 0,25$ ), karena memenuhi aturan nilai FCp.

Aturan yang kedua adalah:

$$\Delta T > \Delta T_{min} \quad 4)$$

Untuk aturan yang kedua ini, adalah aturan yang sangat lazim, dan otomatis dapat dipenuhi, di mana  $\Delta T$  antara masing-masing aliran  $> \Delta T_{\min}$ . Sehingga setelah memenuhi kedua aturan tersebut di atas, maka bentuk diagram menjadi:



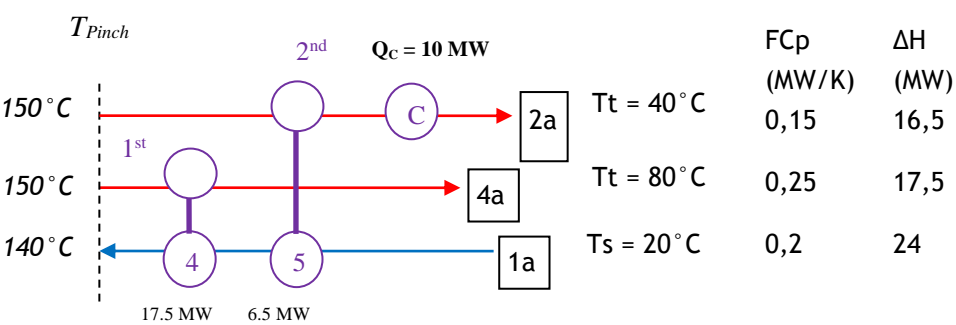
Gambar 7-20. Desain HE 1, 2, 3, dan  $Q_H$

Pada gambar di atas, aliran nomor 3 menerima semua panas dari aliran nomor 4 yaitu 12,5 MW dan masih memerlukan panas sebesar  $27 - 12,5 = 14,5 \text{ MW}$ , aliran nomor 1 menerima 8 MW dari aliran nomor 2 dengan jumlah yang pas.

Aliran nomor 2 masih memiliki sisa panas  $15 - 8 = 7 \text{ MW}$  yang bisa dipasangkan dengan aliran nomor 3 (karena nilai  $FCp$  aliran 3  $> FCp$  aliran 2). Sehingga jumlah panas yang masih dibutuhkan aliran nomor 3 adalah:  $27 - 12,5 - 7 = 7,5 \text{ MW}$ . Jumlah 7,5 MW ini hanya bisa diperoleh dari *hot utility* atau berupa *steam*, nilai ini cocok dengan analisis kurva komposit pada Gambar 7-16.

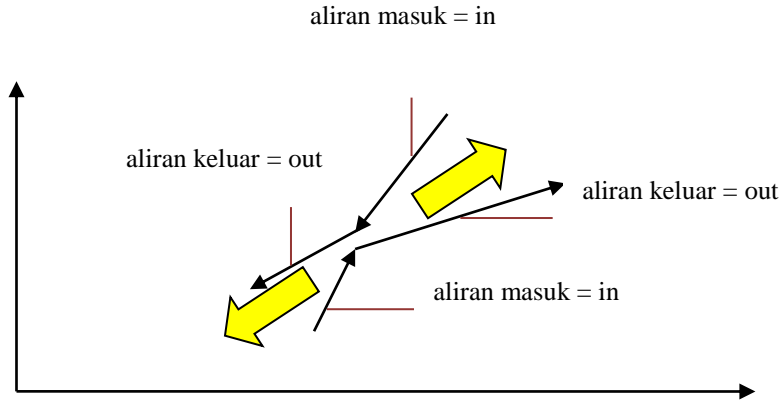
Perlu diketahui, pada proses di atas *Pinch*, selalu tidak ada *cold utility* atau air pendingin.

Setelah menganalisis proses di atas *Pinch*, mari kita analisis untuk proses di bawah *Pinch*.



Gambar 7-21. Desain HE 4, 5, dan  $Q_C$

Untuk desain HE di bawah *Pinch* sama sekali tidak berbeda dengan di atas *Pinch*. Pertama penuhi aturan  $FCp_{out} > FCp_{in}$ , hanya saja letak *out* dan *in*-nya yang berbeda yaitu:



Gambar 7-22. Aturan aliran masuk dan keluar di atas dan di bawah *Pinch*.

Sehingga berdasarkan aturan pada Gambar 7-21, dan aturan  $FCp_{out} > FCp_{in}$ , maka aliran nomor 1a dipasangkan dengan aliran nomor 4a. Hal ini berarti jumlah panas 17,5 MW ditransfer ke aliran nomor 4a, dan sisa panas yang dibutuhkan aliran nomor 1a adalah  $24 - 17,5 = 6,5$  MW.

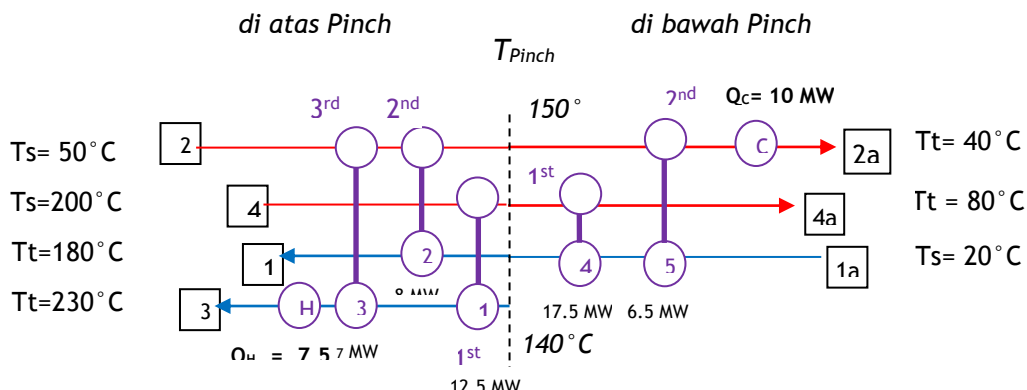
Panas 6,5 MW bisa diambil dari aliran nomor 2a meskipun tidak sesuai aturan  $FCp_{out} > FCp_{in}$ , dengan syarat tidak ada lagi aliran yang bisa dipasangkan lagi.

Dengan demikian sisa panas pada aliran nomor 2a adalah  $16,5 - 6,5 = 10$  MW, yang hanya bisa didinginkan oleh *cold utility* atau air pendingin.

Jadi, jumlah HE yang dibutuhkan adalah:

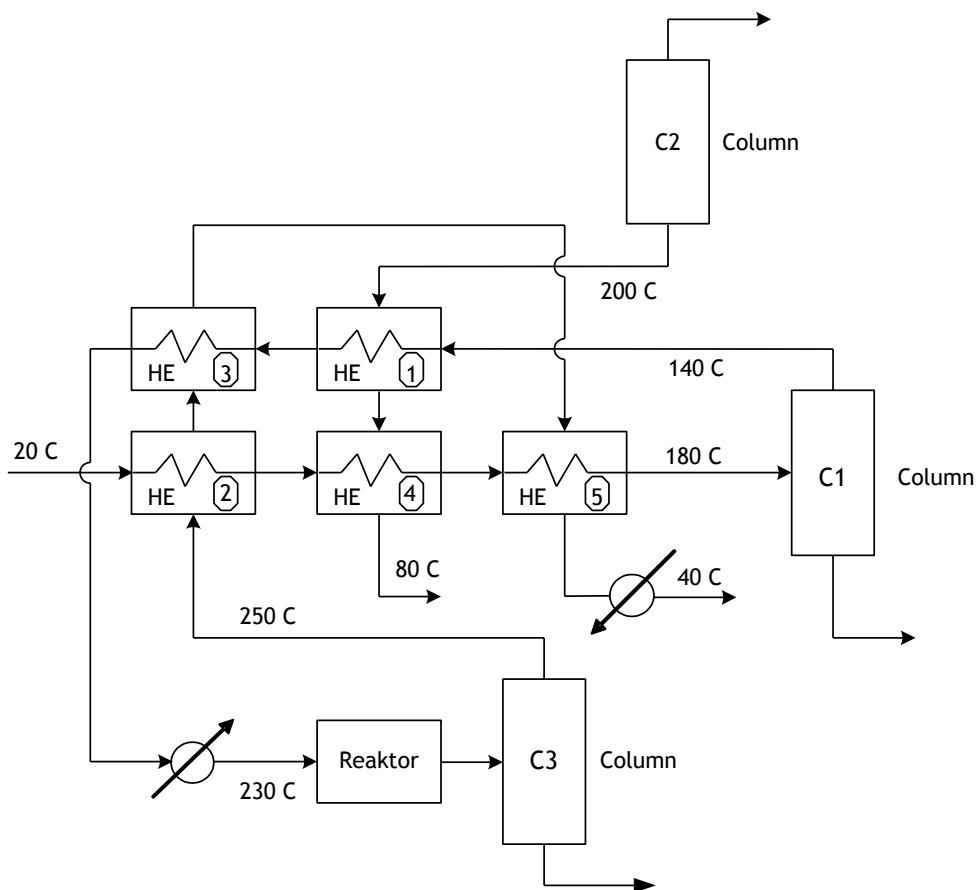
$$\begin{aligned}
 U_{\min} &= N_{\text{di atas Pinch}} + N_{\text{di bawah Pinch}} && 5) \\
 N_{\text{di atas Pinch}} &= 3 + 1 \text{ (QH)} = 4 \\
 N_{\text{di bawah Pinch}} &= 2 + 1 \text{ (QC)} = \underline{3} \\
 \text{Total kebutuhan HE} &= 7 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

Jadi susunan jaringan HE menjadi:



Gambar 7-23. Susunan HEN-D pada diagram *grid*.

Sehingga jika digambarkan beserta diagram prosesnya menjadi:

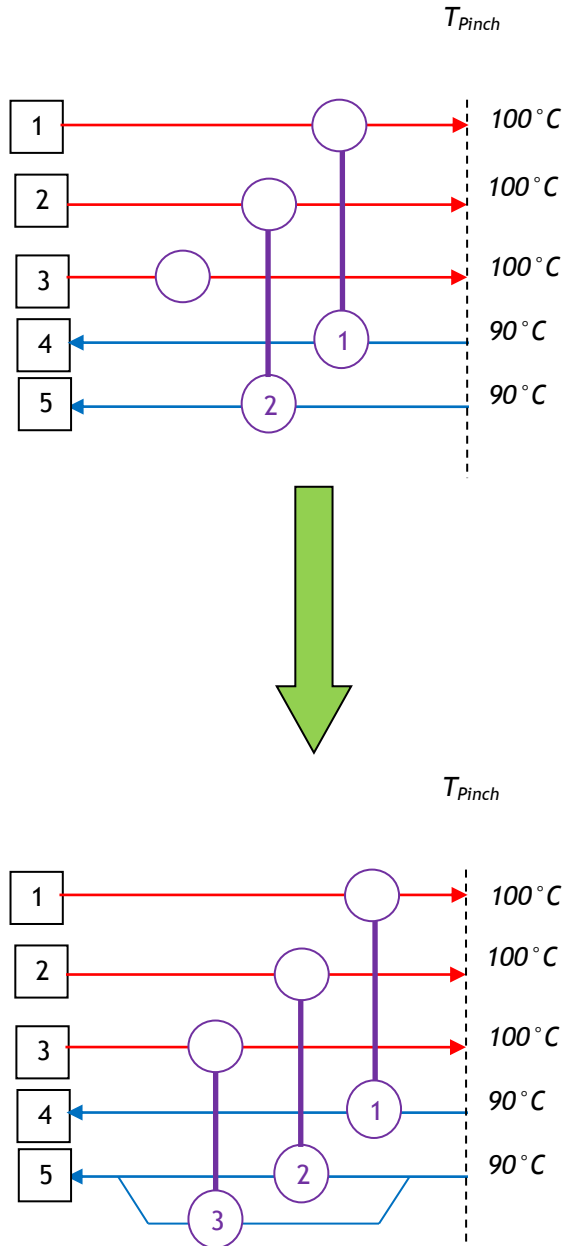


Gambar 7-24. Susunan HEN-D pada diagram proses

Aturan-aturan dalam desain metode *Pinch* mencakup adanya *stream splitting* (pembagian aliran) dengan cara sebagai berikut (Chen):

a. Di atas titik *Pinch*:

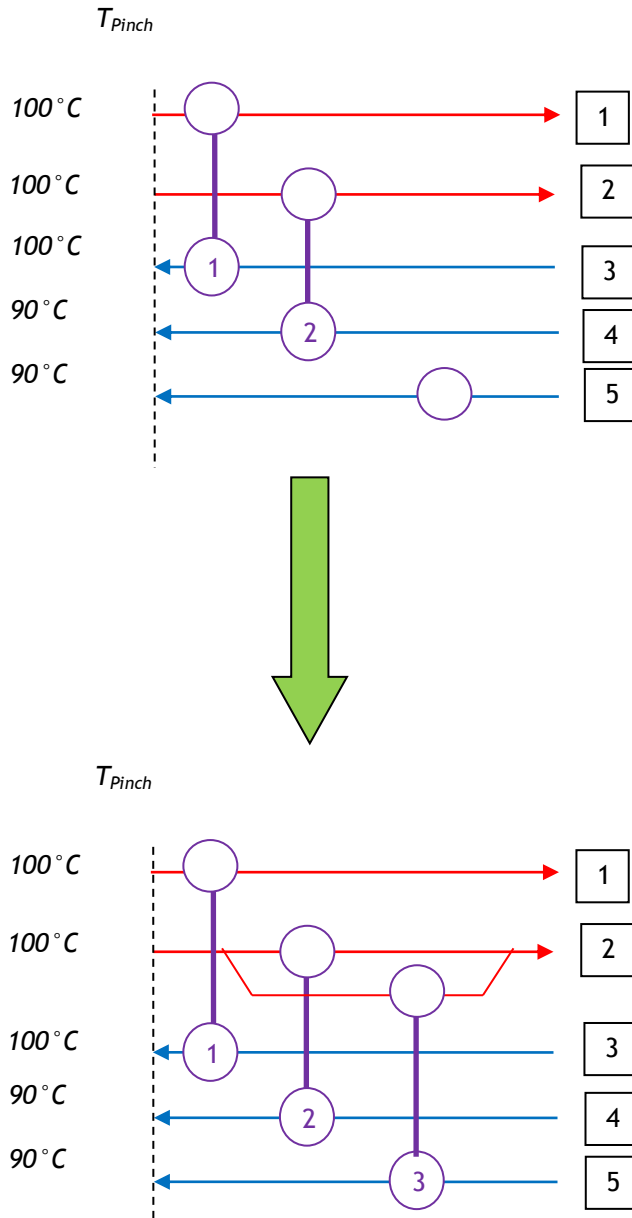
1. Jika semua aliran panas harus di dinginkan mendekati titik *Pinch*
2. Jika jumlah aliran panas > jumlah aliran dingin



Gambar 7-25. Aturan *stream splitting* di atas titik *Pinch*

b. Di atas titik *Pinch*:

1. Jika semua aliran dingin harus di panaskan mendekati titik *Pinch*
2. Jika jumlah aliran dingin > jumlah aliran panas



Gambar 7-26. Aturan *stream splitting* di bawah titik *Pinch*

## 7.2. AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES

### 7.2.1. Tujuan

Tujuan pelaksanaan audit energi pada integrasi proses di antaranya adalah:

- ✓ Mengintegrasikan penggunaan material dan energi;
- ✓ Meminimalkan timbulnya emisi dan limbah;
- ✓ Menentukan besarnya potensi penghematan energi;
- ✓ Mendapatkan potensi penghematan pemakaian energi secara keseluruhan, serta menentukan langkah-langkah penghematan energi tanpa mengurangi tingkat produktivitas;
- ✓ Memberikan rekomendasi pelaksanaan penghematan energi.

### 7.2.2. Ruang Lingkup

#### 7.2.2.1. Ruang Lingkup Kajian

Ruang lingkup kajian audit energi pada sistem integrasi proses secara ringkas adalah:

- ✓ Peralatan yang membutuhkan panas;
- ✓ Peralatan yang menghasilkan panas;
- ✓ Peralatan yang mengalami kehilangan panas;
- ✓ Proses yang membutuhkan material yang terdapat di dalam proses lainnya sehingga memerlukan.

#### 7.2.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan

Sedangkan yang dimaksud dengan ruang lingkup kegiatan/pekerjaan adalah hal-hal apa saja yang mesti dilakukan dalam melaksanakan kegiatan atau pekerjaan audit energi pada sistem integrasi proses.

Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan inilah yang akan dibahas secara rinci di dalam buku ini, mulai Subbab 7.3 hingga selesai.

Perlu disampaikan di sini bahwa Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan dirancang berdasarkan Ruang Lingkup Kajian. Oleh karena itu dengan melaksanakan - tahap demi tahap - kegiatan/pekerjaan sebagaimana diuraikan pada Subbab 7.3 hingga selesai berarti juga sudah memenuhi Ruang Lingkup Kajian.

Ruang lingkup kegiatan/pekerjaannya meliputi: a) Persiapan, b) pengukuran, c) , dan d) penyusunan laporan.

## 7.3. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES

### 7.3.1. Data Awal yang Diperlukan

Hal penting yang mesti dipenuhi dalam tahap persiapan (sebelum melaksanakan audit energi pada sistem integrasi proses) adalah informasi tentang data awal. Dengan adanya data awal ini maka tim auditor dapat mempersiapkan atau mengantisipasi segala sesuatu yang dibutuhkan pada saat pelaksanaan pengumpulan data di lapangan/pabrik dengan lebih teliti dan lengkap. Segala sesuatu yang dimaksudkan di sini meliputi: jumlah personil, waktu yang dibutuhkan untuk pengumpulan data, dan peralatan yang akan dibawa (alat-alat ukur, pendukung, dan keselamatan (*safety*)).

Data awal yang dibutuhkan adalah:

- Data proses dan produksi, disertai dengan diagram alirnya atau *flowsheet*;
- Jumlah dan jenis peralatan yang membutuhkan pemanasan, pendinginan, kondensasi, dan evaporasi di dalam prosesnya, misalnya:
  - *Heat exchanger: heater, cooler, economizer, superheater, condenser, reboiler, distiller*
  - *Reaktor, furnace, burner*
  - *Separator, extractor, adsorber, stripper*
  - *Heat pump*
- Kondisi operasi peralatan tersebut di atas, meliputi laju alir, tekanan, dan temperatur;
- Neraca massa dan energi/panas
- Alat ukur yang terpasang dan beroperasi dengan baik atau pembacaannya akurat, misalnya:
  - *Flowmeter*
  - *Condensate flowmeter*
  - *Pressure gauge*
  - *Temperature-meter*
  - *Presssure Reducing Valve*
  - *Pressure Relief Valve*

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh data awal tersebut di atas, yaitu melalui:

- ✓ Pengiriman kuesioner;
- ✓ Komunikasi lewat email dan/atau surat menyurat lainnya;
- ✓ Tinjauan langsung (survei awal) ke pabrik.

Sangat disarankan untuk mendapatkan data awal dengan cara ketiga, yakni tinjauan langsung atau survei awal ke industri/pabrik yang akan diaudit energinya. Dengan cara ini maka (tim) auditor dapat melihat secara langsung objek yang akan



dikajinya. Selain itu, apabila diizinkan, (tim) auditor juga dapat mengambil dokumentasi foto peralatan dan lingkungannya. Hal ini sangat berguna, baik untuk tahap persiapan maupun pengumpulan data atau pengukuran.

Pada saat pelaksanaan survei awal tersebut di atas, lembar isian atau kuesioner (lihat Lampiran 1-1) juga dibawa serta, di samping sebagai panduan juga sekaligus diisi oleh (tim) auditor.

Cara kedua adalah mengirimkan Lembar Isian sebagaimana dimaksudkan di atas. Tim Auditor bersikap pasif, menunggu hingga kuesioner itu diisi oleh pihak pabrik dan dikembalikan kepada tim auditor.

### 7.3.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 7.3.2.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan data awal sebagaimana diuraikan di dalam Subbab 7.3.1, selanjutnya dibentuk Tim. Personil yang dibutuhkan sangat tergantung pada lingkup audit yang akan dilakukan serta besarnya skala industri yang akan diaudit. Kebutuhan minimum personil untuk melakukan audit di sistem integrasi proses sebanyak 3 orang, yaitu:

- 1 orang auditor energi (*chemical engineer*) selaku Koordinator atau *Lead Auditor*;
- 1 orang teknisi mekanikal; dan
- 1 orang teknisi elektrikal.

#### 7.3.2.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem integrasi proses. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Integrasi Proses (Lampiran 1-7) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem integrasi proses di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Integrasi Proses; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Mengamati perubahan proses di peralatan utama, meng adanya potensi *heat loss* ataupun potensi *heat recovery*, dan memastikan semua data yang dibutuhkan didapatkan oleh teknisi mekanikal maupun elektrikal;

- h). Menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem integrasi proses ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i). Apabila audit energi pada sistem integrasi proses ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem integrasi proses saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Teknisi bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem integrasi proses. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- c). Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Integrasi Proses (Lampiran L 1-7);
- d). Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem integrasi proses.

### 7.3.3. Jadwal Kegiatan

Audit dilakukan secara simultan dan bersamaan, jika terdapat ruang kontrol atau DCS maka akan sangat memudahkan untuk pengambilan data. Sehingga data-data di lapangan diperlukan untuk pengecekan atau verifikasi. Waktu total yang dibutuhkan untuk audit integrasi proses adalah cukup 1 hari kerja.

### 7.3.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

#### 7.3.4.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 6.3.2.2. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

#### 7.3.4.2. Persiapan Teknis

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Dengan mengetahui jenis dan jumlah alat-alat ukur yang terpasang di pabrik (melalui data awal) maka pada tahap persiapan ini dapat dipersiapkan alat-alat yang harus dibawa ke pabrik. Rincian peralatan tersebut di atas, yang biasa digunakan saat melakukan audit energi pada sistem integrasi proses dapat dilihat pada Tabel 7-5 s.d 7-7.

### **7.3.5. Persiapan dan Pengarahan K-3**

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu ilmu yang membahas tentang keselamatan dan kesehatan pekerja, lingkungan kerja, dan hasil kerja. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Produktivitas suatu perusahaan salah satunya sangat bergantung pada peran yang dilakukan oleh tenaga kerjanya. Kemampuan tenaga kerja untuk melakukan produksi memerlukan dukungan dan jaminan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

Bahaya kesehatan penting yang mungkin memiliki dampak kesehatan di industri di antaranya:




- Debu yang berada dan melayang di udara
- Kebisingan dan getaran
- Atmosfer yang berbahaya
- Radiasi
- Penanganan bahan bakar alternatif

Terkait dengan kegiatan audit energi, selayaknya Buku Panduan tentang K-3 juga dimiliki oleh suatu institusi atau tim auditor energi. Dengan demikian pada saat tim auditor energi akan diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, maka Koordinator mengingatkan kembali dan/atau memberikan pengarahan di bidang K-3.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.



Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

Tabel 7-5  
Peralatan ukur untuk audit energi pada sistem integrasi proses \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<p><b><i>Ultrasonic liquid flowmeter</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur laju aliran air yang melalui pipa dengan cara memasang sensor <i>ultrasonic</i> dari alat ini pada bagian luar pipa.</li> </ul>	
<p><b><i>Non contact thermometer</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur temperatur pada permukaan objek ukur</li> </ul>	
<p><b><i>Temperature &amp; Humidity Meter</i></b></p> <p>Fungsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara</li> </ul>	
<p><b><i>Infrared thermography</i></b></p> <p>Fungsi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kamera yang berfungsi untuk mengukur temperatur benda untuk mendeteksi adanya masalah, seperti pada sambungan kabel instalasi listrik, dinding boiler, pipa-pipa uap panas, kebocoran area HVAC dengan menampilkan gambar <i>infrared</i> dari benda yang diukur yang mencantumkan besar nilai temperaturnya.</li> </ul>	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 7-6  
Peralatan pendukung untuk audit energi pada sistem integrasi proses \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Kabel Gulung Listrik</b>  Fungsi: - Untuk menyalurkan arus listrik hingga jarak 25 m dari sumber listrik.	 <p>(25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets) (<a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a>)</p>
<b>Peralatan Mekanik</b>  Fungsi: - Sebagai alat bantu untuk pekerjaan yang bersifat mekanik.	 <p>(<a href="http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html">http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html</a>)</p>
<b>Kamera (Digital)</b>  Fungsi : - Mendokumentasikan (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan di.	 <p>(<a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a>)</p>
<b>Meteran</b>  Fungsi : - Mengukur dimensi (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan di	 <p>(<a href="http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20">http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20</a>)</p>

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 7-7  
Peralatan K-3 untuk audit energi pada sistem integrasi proses \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Pelindung Kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) ( <a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a> )	
<b>Kacamata keselamatan</b> (Hornets safety glasses) ( <a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a> )	
<b>Sarung-tangan kain</b> ( <a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a> )	
<b>Sarung tangan anti panas</b> <a href="http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop_product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a>	
<b>Pelindung mulut dan hidung</b> ( <a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a> )	
<b>Lampu senter</b> ( <a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a> )	
<b>Pelindung telinga</b> ( <a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a> )	
<b>Pakaian keselamatan</b> ( <a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a> )	
<b>Sepatu keselamatan</b> ( <a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a> )	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### 7.3.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## 7.4. PENGUKURAN/PENGUMPULAN DATA

### 7.4.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Tahapan selanjutnya dalam melakukan audit energi di industri adalah pengumpulan data, baik data primer maupun data sekunder di lokasi obyek yang akan diaudit.

Sebelum pengambilan data dilakukan, tim audit energi terlebih dahulu memaparkan tahapan dan proses pelaksanaan audit energi pada sistem integrasi proses. Pemaparan ini merupakan pertemuan antara tim auditor dengan pihak pabrik yang akan diaudit energinya. Hal yang disampaikan oleh tim auditor adalah:

- Pengenalan Tim
- Pemaparan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Verifikasi/Klarifikasi Data yang Diperoleh

### 7.4.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

#### 7.4.2.1. Pengumpulan Data Primer

##### A. Data Primer yang Dibutuhkan

Data primer selengkapnya yang dibutuhkan dapat dilihat pada Lampiran 1-7. Namun secara umum data primer yang harus diperoleh - melalui pengukuran - meliputi:

- laju alir, [ton/jam] atau [kl/jam]
- temperatur, [°C]
- tekanan, [kg/cm<sup>2</sup>]

di kedua titik: masuk (*in*) dan keluar (*out*) bagi peralatan-peralatan sebagaimana disebutkan pada Subbab 7.3.1 (*Heat exchanger: heater, cooler, economizer, superheater, condenser, reboiler, distiller*, dan sebagainya).

## B. Cara Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui pengukuran (langsung). Dalam hal alat ukur yang terpasang di industri tersebut berfungsi normal (akurat) maka memungkinkan bagi auditor untuk menyalin/mencatat data (primer) yang dihasilkan alat ukur tersebut. Dengan demikian auditor tidak perlu lagi melakukan pengukuran sendiri.

## C. Periode Pengukuran

Secara umum pengukuran dilakukan secara sesaat dan/atau berkala, sekalipun suatu pengukuran secara sinambung (*on-line*) merupakan yang paling akurat.

Periode pengukuran - pada titik tertentu - secara berkala dapat dilakukan, misal setiap 10 menit selama 2 jam.

### 7.4.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

#### A. Data Sekunder yang Dibutuhkan

Data sekunder yang dibutuhkan meliputi:

- Data proses produksi, (PFD, SLD, dan lain-lain),
- Desain peralatan terpasang berikut pola operasinya,
- Data produksi bulanan (3 tahun terakhir), atau neraca massa produksi bila ada;
- Konsumsi energi dan bahan bakar, atau neraca energi bila ada;
- Dokumen modifikasi proses yang pernah dilakukan,
- Permasalahan-permasalahan yang sering muncul akhir-akhir ini,
- *Standard Operating Procedure* (SOP).

#### B. Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data skunder umumnya dilakukan pada saat survei awal. Namun demikian pada saat pelaksanaan pengukuran (data primer) dapat juga sekaligus melengkapi kekurangan data sekunder.

Pengumpulannya juga dilakukan dengan pengamatan serta interview terhadap operator dan pihak manajemen pabrik, untuk memperoleh pola konsumsi energi yang lebih rinci serta menggali peluang-penghematan energi yang dapat dilakukan.

#### C. Evaluasi Awal Hasil Pengumpulan

Berdasarkan data sekunder yang berhasil dikumpulkan, akan dilakukan *review* dan verifikasi data. Hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh memiliki validitas yang tinggi dan dapat dipercaya. Data yang dikumpulkan akan dievaluasi dan penghitungan awal.



### 7.4.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setelah selesai melakukan pengamatan dan pengukuran pada sistem integrasi proses di *plant* maka auditor diharapkan bisa menyampaikan temuan-temuan sementara hasil audit lapangan.

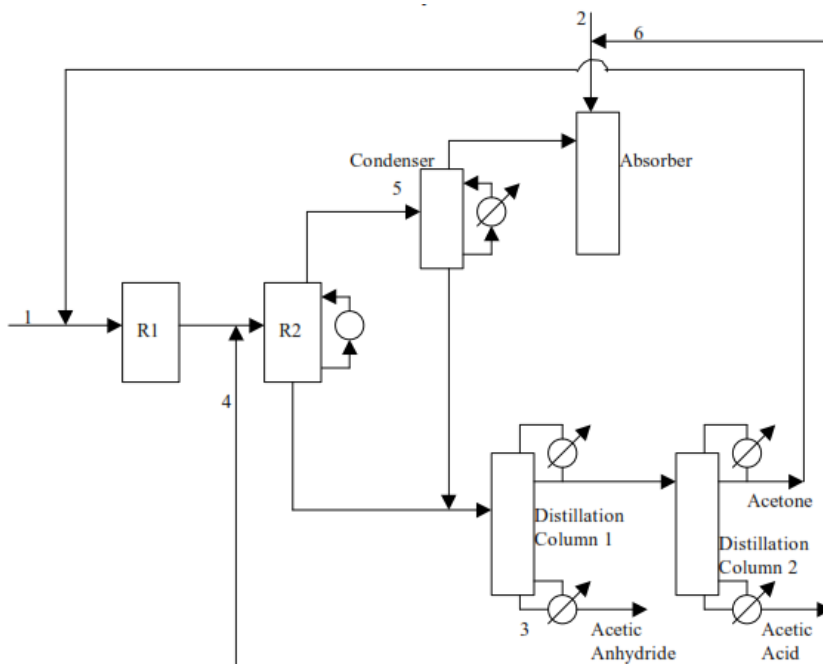
Beberapa temuan yang didapatkan tersebut, antara lain berisi mengenai kondisi *best practice* yang telah berjalan di *plant*, titik fokus area yang terdapat potensi penghematan energi, evaluasi sesaat pola operasi dan pemeliharaan, dan kondisi eksisting kinerja peralatan yang ada.

## 7.5. ANALISIS

### STUDI KASUS PADA SISTEM INTEGRASI PROSES

#### 7.5.1. Penurunan Konsumsi Uap di Pabrik *Acetic Anhydride*

Di bawah ini terdapat proses produksi *Acetic Anhydride*:



Gambar 7-27. Diagram Skema proses produksi *Acetic Anhydride*  
(Villasin, Obenza, Lanuza, & Nguyen)

Dan berikut keterangan masing-masing aliran:

Tabel 7-8  
Penjelasan tiap-tiap aliran

Aliran	Keterangan
1	Aceton masuk sebagai bahan baku
2	Asam asetat masuk
3	Reboiler 1 Kolom distilasi
4	Asam asetat <i>recycle</i> masuk reaktor 2
5	<i>Flash/condenser</i>
6	Asam asetat <i>recycle</i> masuk absorber

Dari data-data neraca massa dan panas didapatkan kapasitas panas masing-masing aliran, kemudian dikelompokkan antara aliran panas dan dingin sebagai berikut:

Tabel 7-9  
Tabel analisis target aliran

Nomor aliran	Tipe aliran	FCp (BTU/hr °F)	T <sub>in</sub> (°F)	T <sub>out</sub> (°F)	ΔH × 10 <sup>5</sup> (BTU/hr)
1	Dingin	4.893	77	133	-2,74
2	Dingin	2173	77	129	-1,13
3	Dingin	5x10 <sup>5</sup>	156	196	-205
4	Panas	1,23x10 <sup>4</sup>	244	77	21
5	Panas	2,75x10 <sup>5</sup>	176	128	132
6	Panas	1.046	244	129	1,2

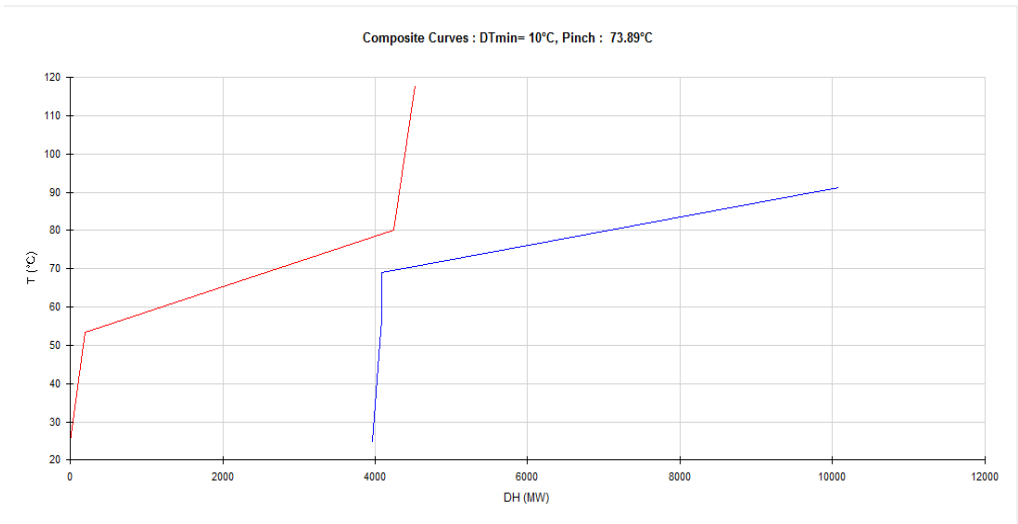
Terlihat pada Tabel 7- di atas bahwa 50,25x10<sup>5</sup> BTU/hr harus disuplai dari utilitas yaitu berupa uap. Kemudian seperti penjelasan di atas, maka sebaiknya dibuat kurva komposit panas dan dingin bisa secara manual atau dengan menggunakan *software Pinch* yaitu *OPTIMAL HEAT*.

Dan sebaiknya satuan operasi diubah ke SI (Satuan Internasional), sehingga Tabel 7-9 menjadi:

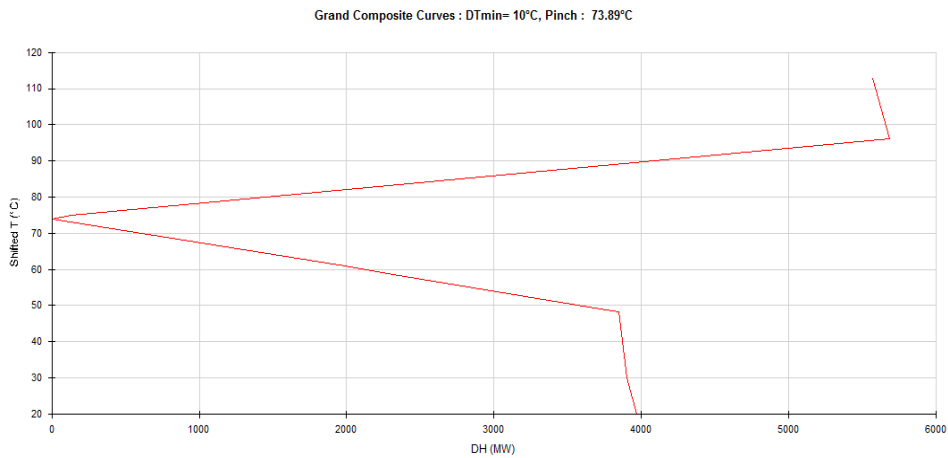
Tabel 7-10  
Tabel analisis target aliran dalam SI

Nomor aliran	Tipe aliran	FCp (kW/ °C)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	ΔH (kW)
1	Dingin	2,58	25	56,11	-80,3
2	Dingin	1,15	25	53,89	-33,12
3	Dingin	270,36	68,89	91,11	-6.007,96
4	Panas	6,63	117,78	25	615,45
5	Panas	145,07	80	53,33	3.868,54
6	Panas	0,55	117,78	53,89	35,17

Setelah itu, masukkan data-data pada Tabel 7-3 ke dalam OPTIMAL HEAT®, sehingga mendapatkan kurva komposit seperti berikut:



Gambar 7-28. Kurva komposit dengan  $\Delta T_{min}$  10 °C dengan OPTIMAL HEAT®

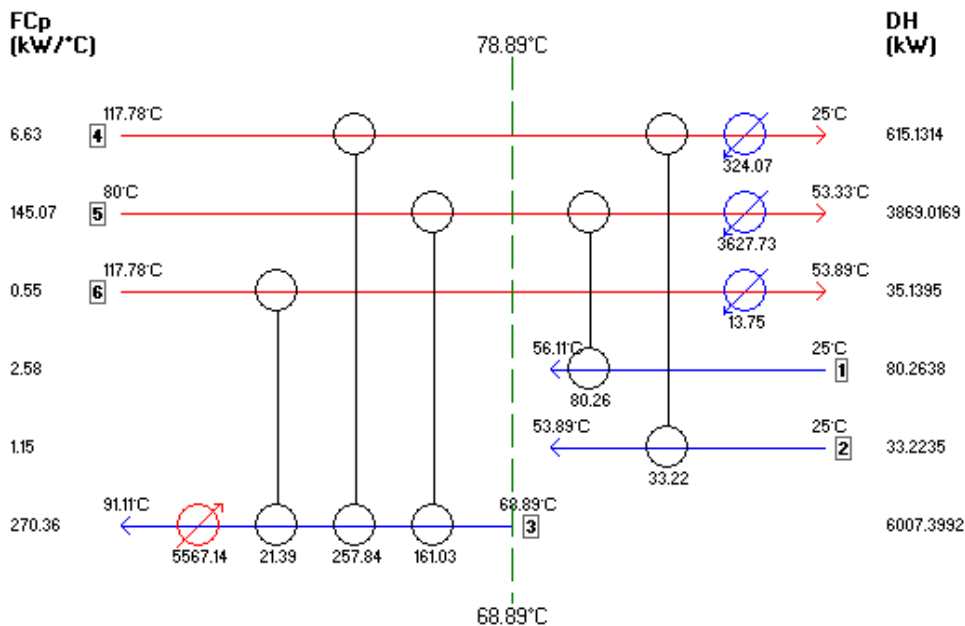


Gambar 7-29. Kurva *Grand Composite* dengan OPTIMAL HEAT®

Dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7-11  
Hasil *Pinch* berdasar OPTIMAL HEAT®

No	Keterangan	Nilai
1	$\Delta T_{\min}$	10 °C
2	$T_{\text{Pinch panas}}$	78,89 °C
3	$T_{\text{Pinch dingin}}$	68,89 °C
4	$Q_{\text{Hot(min)}}$	5.567,1413 kW
5	$Q_{\text{Cold(min)}}$	3.965,5426 kW
6	Jumlah aliran panas	3
7	Jumlah aliran dingin	3



Gambar 7-30. Bentuk desain jaringan HE

### 7.5.2. Analisis Awal Tekno-Ekonomi

Tanpa adanya integrasi panas atau *Pinch*, didapatkan  $Q_{\text{Hot}} = 6.121,37$  kW, dan  $Q_{\text{Cold}} = 4.519,16$  kW. Nilai ini cukup besar. Dibandingkan dengan menggunakan analisis *Pinch*, nilai  $Q_{\text{Hot}}$  menjadi 5.567,14 kW, dan  $Q_{\text{Cold}}$  3.965,54 kW, sehingga  $Q_{\text{Hot}}$  mengalami penurunan sebesar 554,23 kW, dan  $Q_{\text{Cold}}$  sebesar 553,62 kW. Jika harga utilitas panas adalah USD2,25 per GJ dan harga utilitas dingin adalah USD0,25 per GJ, maka dengan *Pinch* bisa menghemat USD346.393,75 per jam + 38.445,83 per jam = USD384.839,58 per jam, atau setara dengan Rp4.618.075.000 per jam.

## 7.6. LAPORAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM INTEGRASI PROSES

Penyusunan laporan audit energi pada sistem integrasi proses bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem integrasi proses merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem integrasi proses yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, diesel generator, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem integrasi prosesnya saja yang diaudit.

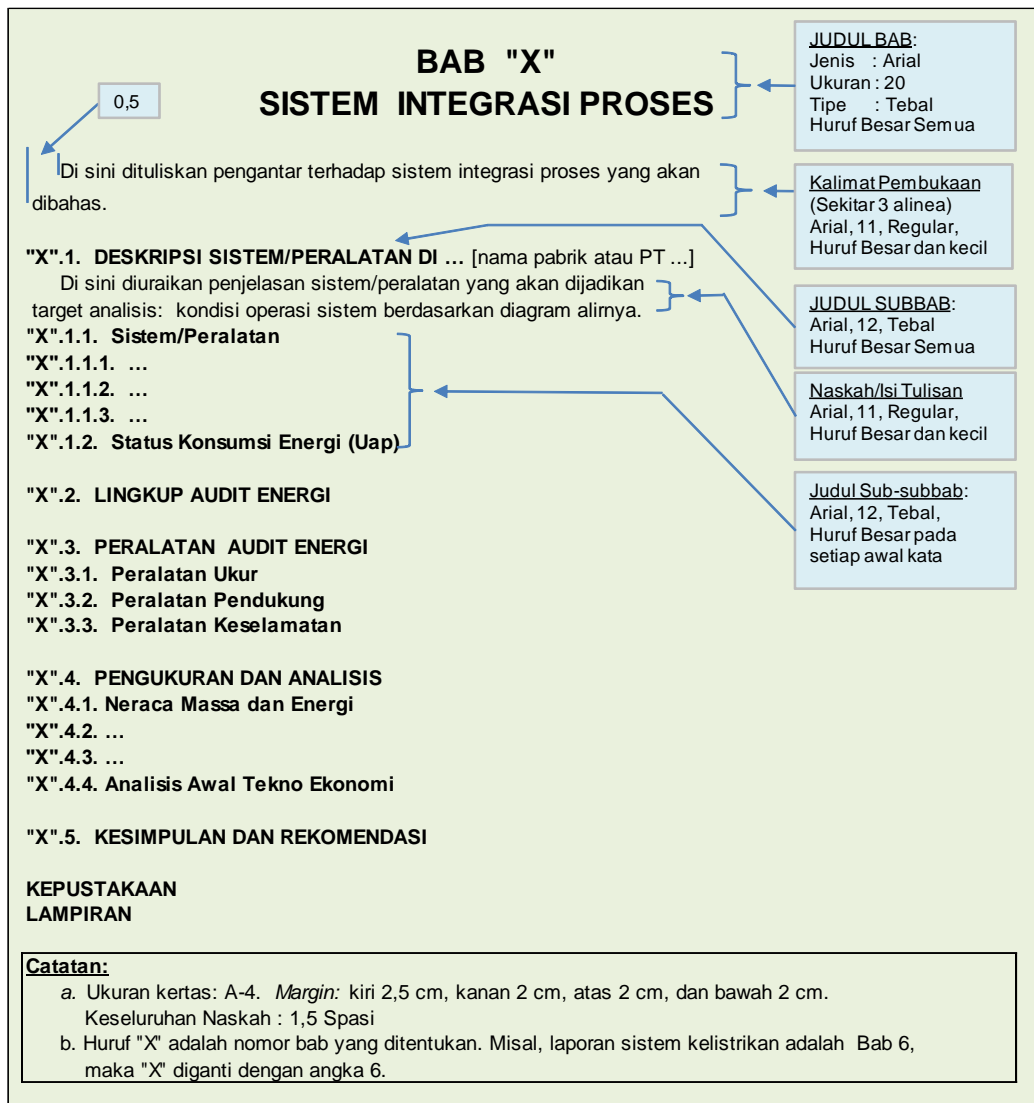
### 7.6.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem integrasi proses merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 7-31. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 7-32.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 7-31) adalah urutan bab pada sistem integrasi proses. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem integrasi proses berada pada urutan ke-7, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 7 atau VII. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 7 atau Bab VII Sistem Integrasi Proses.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan - sesuai dengan Gambar 7-31 - meliputi:

- a. Deskripsi atau Tinjauan Sistem/Peralatan  
Di sini diuraikan hal-ikhwal mengenai sistem/peralatan di pabrik tersebut yang membutuhkan pemanasan, pendinginan, kondensasi, dan evaporasi disertai kondisi operasinya. Selain itu juga status konsumsi energi (uap) pada saat ini, dan beberapa lainnya.
- b. Lingkup Audit Energi pada Sistem Integrasi Proses  
Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.
- c. Peralatan Audit Energi  
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan dalam melakukan audit energi, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.
- d. Pengukuran dan  
Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya.  
Bila dipandang perlu, dilengkapi pula dengan awal tekno ekonomi.
- e. Kesimpulan dan Rekomendasi  
Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 7-31. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem integrasi proses yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>		
1.1 Identitas Perusahaan	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
<b>BAB 2 DESKRIPSI SISTEM/PERALATAN</b>		
2.1 Sistem/Peralatan		
2.1.1. ...		
2.1.2. ...		
2.1.3. ...		
2.2 Status Konsumsi Energi (Uap)		
<b>BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI</b>		
<b>BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI</b>		
4.1 Peralatan Ukur		
4.2 Peralatan Pendukung		
4.3 Peralatan K-3		
<b>BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>		
5.1 Neraca Massa dan Energi		
5.2 ....		
5.3 ....		
5.4 Analisis Awal Tekno Ekonomi		
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

<p><b>Catatan:</b></p> <p>a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin:</i> kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi</p> <p>b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.</p> <p>c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.</p>
--

Gambar 7-32. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

### 7.6.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Integrasi Proses

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem integrasi prosesnya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan “tunggal”, yang hanya mengulas ikhwal sistem integrasi proses, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, hingga kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 7-33.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

a. Kata Pengantar

Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.

b. Ringkasan Eksekutif

Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.

c. Pendahuluan

Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.

d. Deskripsi Sistem/Peralatan

Uraianya dapat melihat butir a pada Subbab 7.6.1.

e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Integrasi Proses

Uraianya dapat melihat butir b pada Subbab 7.6.1.

f. Peralatan Audit Energi

Uraianya dapat melihat butir c pada Subbab 7.6.1.

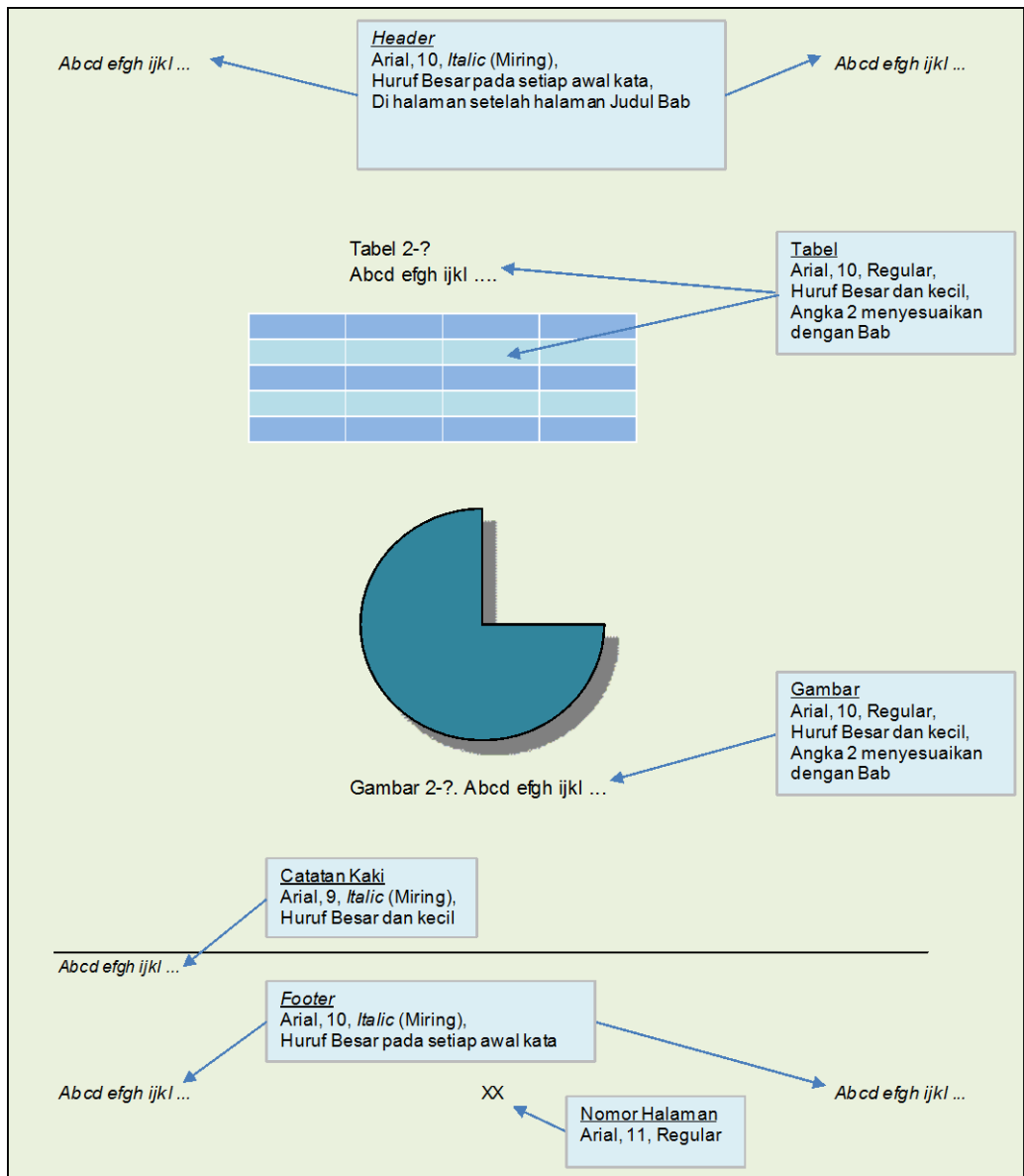
g. Pengukuran dan

Uraianya dapat melihat butir d pada Subbab 7.6.1.

h. Kesimpulan dan Rekomendasi

Uraianya dapat melihat butir e pada Subbab 7.6.1.





Gambar 7-33. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem integrasi proses di industri.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Chen, C.L. (n.d.). *Process Integration for Efficient Use of Energy*. Taiwan: Department of Chemical Engineering, National Taiwan University.
- [2] Dunn, R.F., & El-Hawagi, M.M. 2003. *Review Process Integration Technology Review: Background and Applications in the Chemical Process Industry*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* , 1011-1021.
- [3] *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. Book II, Chapter 3 Steam System. 2005. In *Guide Book-BUREAU of Energy Efficiency*. New Delhi.
- [4] Gundersen, T. *Heat Integration – Targets and Heat Exchanger Net work Design*. Norway: Norwegian University of Science and Technology.
- [5] Kemp, I. C. 2007. *Pinch Analysis and Process Integration* (Second Edition ed.). Great Britain: Elsevier Ltd.
- [6] *Kesehatan & Keselamatan Kerja Pada Industri Semen*. 2004, Desember. Retrieved 2014, from International Labour Organization (ILO): [www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed.../wcms\\_218617.pd](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed.../wcms_218617.pd)
- [7] Manan, Z.A. 2014. *Software for Maximizing Energy Recovery*. Malaysia: University Technology Malaysia.
- [8] Miah, J.H., A. Griffiths, R. McNeill, I. Poonaji, R. Martin, A. Yang, et al. 2014. *Heat Integration in Processes with Diverse Production Lines: A Comprehensive Framework and an Application in Food Industry*. *Applied Energy* , 452-464.
- [9] Nordman, R. 2005. *New Process Integration Methods for Heat-Saving Retrofit Projects in Industrial Systems*. Sweden: Chalmers University of Technology.
- [10] Panggabean, L.M. (Ed). 1992. *Teknik Dasar Penghematan Energi di Industri*. UPT-LSDE, BPP Teknologi. Serpong: BPPT.
- [11] Spirax-Sarco Limited. 2013. *Steam System Services*. Retrieved 2014, from Spirax-Sarco Limited: [www.spiraxsarco.com/pdfs/sb/gcm\\_20.pdf](http://www.spiraxsarco.com/pdfs/sb/gcm_20.pdf).
- [12] Villasin, M., K. Obenza, M. Lanuza, & T. Nguyen. *Heat Exchanger Network*. Orbit.
- [13] (n.d) Retrieved from [http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-102199-101855/unrestricted/Chapter\\_1.PDF](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-102199-101855/unrestricted/Chapter_1.PDF). Agustus 26, 2014.



## BAB 8

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM CHILLER

Yasmin  
Diding Fahrudin  
Rendi Januardi

**M**esin pendingin atau di dalam buku ini disebut *chiller* bukan hanya dijumpai atau diinstalasi di gedung-gedung sebagai elemen pokok pada sistem tata udara atau *air conditioning* (AC). *Chiller* juga dijumpai di industri/pabrik untuk memenuhi kebutuhan fluida dingin.

Pada penerapannya di industri, air dingin atau jenis cairan lainnya dari *chiller* dimanfaatkan di unit proses atau peralatan laboratorium. *Chiller* digunakan di banyak industri, misalnya industri-industri plastik, logam, bahan-bahan kimia, farmasi, makanan dan minuman, kertas, tekstil, percetakan, peralatan medis, penerbangan, serta beberapa lainnya.

Sebagai mesin konversi energi, sistem *chiller* merupakan sistem yang perlu diperhitungkan dalam pelaksanaan audit energi di industri-industri yang menggunakannya. Hal ini mengingat energi (listrik) yang dikonsumsi *chiller* tergolong signifikan.

Terhadap sistem *chiller* di industri, analisis beban dan kinerja yang meliputi: operasional rutin, pembebanan kerja, nilai kinerja *chiller*, dan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller* perlu untuk dilakukan. Dari hasil analisis ini dapat diketahui status terakhir *chiller* sekaligus potensi penghematan energi dan biayanya.

Di dalam bab ini akan disajikan langkah-langkah dalam melakukan audit energi pada sistem *chiller* di industri. Sajiannya dimulai dari pengenalan perihal *chiller* secara ringkas, dilanjutkan dengan persiapan dan pelaksanaan audit energi hingga penulisan laporan.

## 8.1. PENDAHULUAN

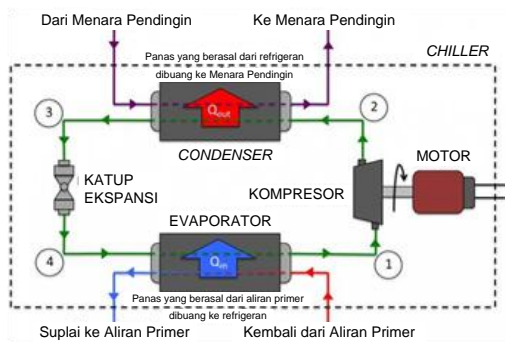
*Chiller* adalah salah satu peralatan pengguna energi yang terdapat di industri. Fungsi *chiller* adalah untuk mendinginkan suatu cairan. Kemudian cairan tersebut digunakan untuk mendinginkan media atau peralatan tertentu. Cairan pendingin ini dapat berupa air atau campuran air dengan bahan tertentu seperti *Glycol*.

*Chiller* yang mendinginkan air disebut *water chiller*. Sedangkan *Chiller* yang mendinginkan larutan tertentu disebut *brine chiller*. Untuk menyederhanakan penulisan buku ini maka kedua macam cairan ini disebut air.

### 8.1.1. Definisi dan Jenis *Chiller*

Apa itu *Chiller*? *Chiller* adalah mesin pendingin yang bekerja dengan cara memindahkan panas dari satu media ke media lainnya melalui proses kompresi atau absorpsi uap. Uap yang digunakan disebut refrigeran. Sehingga berdasarkan prosesnya, *chiller* terbagi menjadi dua macam, yaitu *chiller* kompresi dan absorpsi, seperti tampak pada Gambar 8-1 dan 8-2.

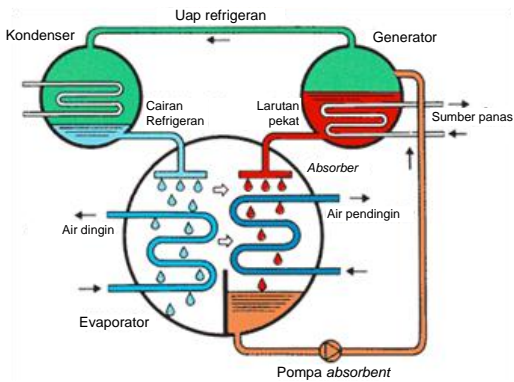
Dari dua macam *chiller* tersebut, *chiller* kompresi adalah yang paling banyak dijumpai di industri ataupun bangunan. Pada pembahasan pada buku ini hanya dibahas tentang *chiller* kompresi.



(Sumber: <http://engfac.cooper.edu>)

(Sumber: <http://www.carrieraircon.co.uk>)

Gambar 8-1. *Chiller* kompresi.



(Sumber: <http://www.maceac.psu.edu>)



(Sumber: <http://www.carrieraircon.co.uk>)

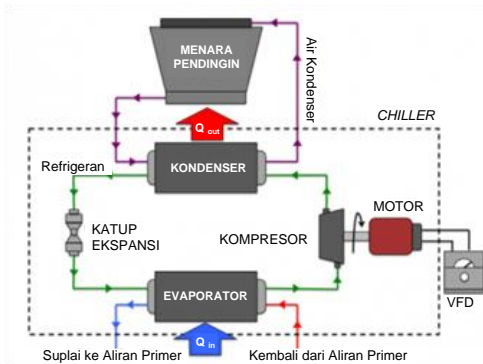
Gambar 8-2. *Chiller* absorpsi.

Adapun cara pembuangan panas dari *chiller* terdiri atas dua macam, yaitu oleh udara dan air. *Chiller* yang didinginkan oleh udara disebut *air-cooled chiller*. Sedangkan *chiller* yang didinginkan oleh air disebut *water-cooled chiller*. Contoh kedua *chiller* tersebut dapat dilihat pada Gambar 8-3 dan 8-4.



(Sumber : <http://www.carrieraircon.co.uk>)

Gambar 8-3. *Air-cooled chiller*



(Sumber: <http://engfac.cooper.edu>)



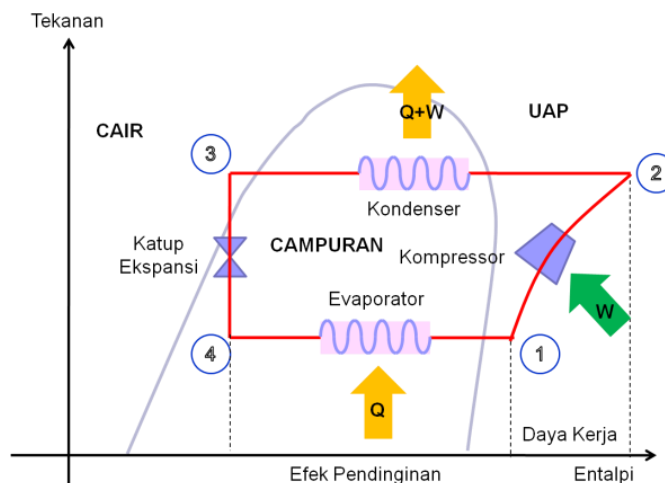
(Sumber: <http://www.carrieraircon.co.uk>)

Gambar 8-4. *Water-cooled chiller*

*Chiller* dibedakan pula berdasarkan tipe mesin kompresi dan refrigeran yang digunakan. Adapun jenis-jenis kompresor *chiller* antara lain adalah sentrifugal, torak (*reciprocating*), ulir (*screw*), dan *scroll*. Sedangkan refrigeran yang digunakan sangat beragam seperti R-22, R-134a, R-410A, R-407C, hidrokarbon, dan lain-lain.

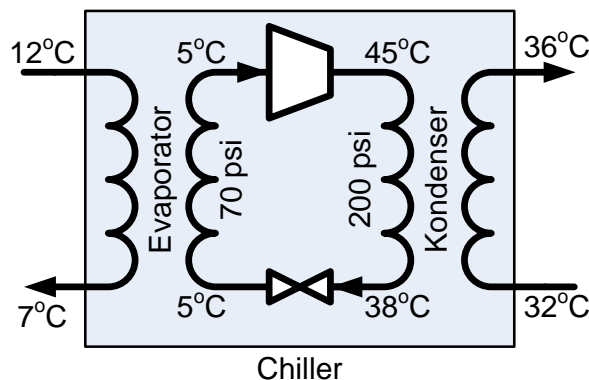
### 8.1.2. Mekanisme Kerja *Chiller*

Bagaimana *chiller* bekerja? *Chiller* kompresi bekerja dengan mekanisme yang disebut siklus refrigerasi (lihat Gambar 8-5). Siklus refrigerasi terdiri dari empat proses utama, yaitu proses kompresi pada kompresor, pembuangan panas pada kondenser, ekspansi pada katup ekspansi, dan penarikan panas pada evaporator. Panas yang ditarik dari evaporator merupakan kapasitas pendinginan dari *chiller*.



Gambar 8-5 Siklus refrigerasi.

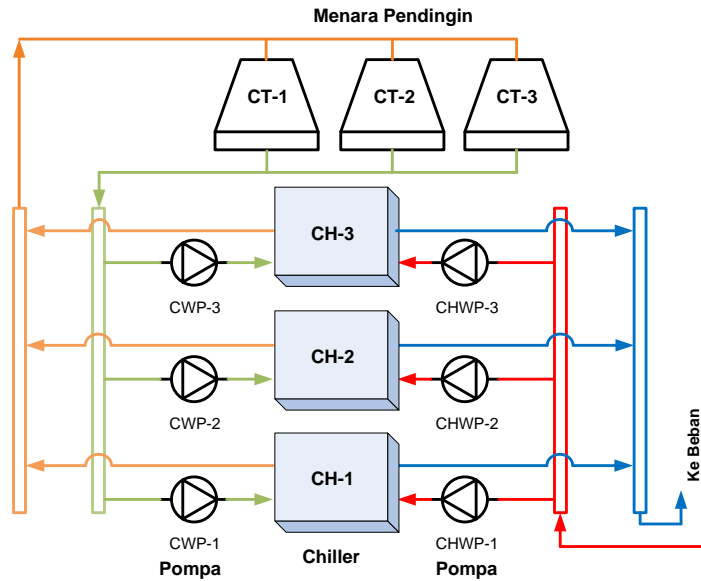
Contoh praktis proses refrigerasi dapat dilihat pada Gambar 8-6. Uap refrigeran dengan tekanan 70 psi dan temperatur 50 °C ditekan oleh kompresor sehingga bertekanan 200 psi dan temperatur 45 °C. Kemudian uap refrigeran didinginkan pada kondenser oleh udara/air. Refrigeran yang keluar dari kondenser bertemperatur 38 °C dan berfasa campuran. Kemudian refrigeran melewati katup ekspansi sehingga terjadi penurunan tekanan menjadi 70 psi dan temperatur menjadi 5 °C serta berfasa cair. Cairan refrigeran kemudian melewati evaporator. Pada evaporator terjadi penukaran panas dari air yang bertemperatur 12 °C ke refrigeran yang bertemperatur 5 °C. Hasilnya air mengalami pendinginan menjadi 7 °C. Sedangkan refrigeran menyerap panas sehingga berubah fasa menjadi uap. Uap refrigeran kemudian kembali menuju kompresor. Demikian siklus refrigerasi terus berlangsung.



Gambar 8-6. Siklus refrigerasi

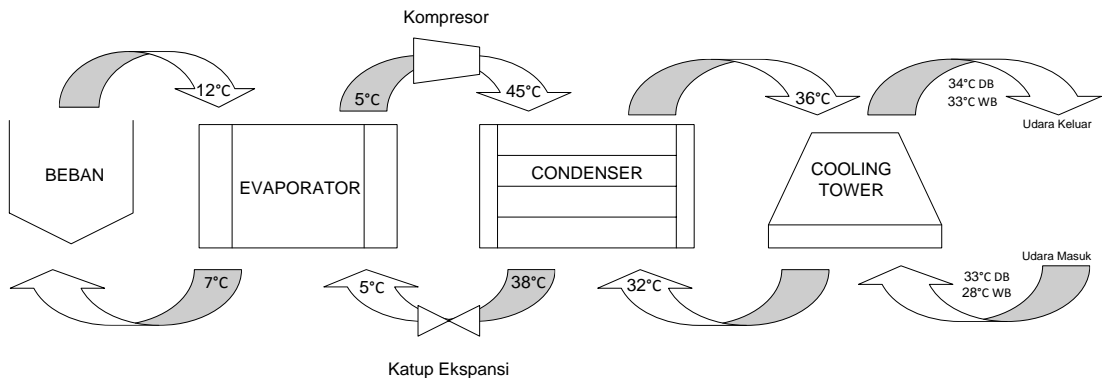
### 8.1.3. Instalasi *Chiller*

**Bagaimana *chiller* terpasang?** *Chiller* adalah suatu perangkat yang tidak bisa berdiri sendiri. Dalam penggunaannya, *chiller* terpasang dengan perangkat-perangkat pendukung seperti pompa, pipa, serta asesoris dan sensor kelengkapannya. Pada *chiller* tipe *water-cooled*, terdapat pula menara pendingin (*cooling tower*) yang berfungsi untuk mendinginkan *chiller*. Sedangkan pada proses pertukaran panas secara tidak langsung dibutuhkan penukar panas (*heat exchanger*). Penukar panas dipasang antara *chiller* dengan beban pendinginan atau dengan menara pendingin. Contoh instalasi *chiller* seperti tampak pada Gambar 8-7.



Gambar 8-7. Contoh instalasi *chiller*.

Contoh praktis operasional *chiller* tampak pada Gambar 8-8. Air pendingin yang kembali dari beban pendinginan dialirkan ke *chiller* dengan temperatur 12 °C. Pada evaporator *chiller*, air tersebut didinginkan oleh refrigeran yang bertemperatur 5 °C sehingga temperatur air menjadi 7 °C. Kemudian air yang telah dingin menuju ke beban untuk mendinginkan udara atau peralatan yang ada. Adapun refrigeran yang telah menarik panas dari beban menguap kemudian mengalami kompresi sehingga temperaturnya menjadi 45 °C.



Gambar 8-8. Pertukaran panas pada sistem *chiller water-cooled*.

Pada *chiller* tipe *air-cooled*, refrigeran didinginkan oleh udara bertemperatur sekitar 34 °C. Sedangkan pada *chiller* tipe *water cooled*, refrigeran didinginkan oleh air bertemperatur sekitar 32 °C. Air pendingin *chiller* ini mengalami kenaikan temperatur menjadi 36 °C. Kemudian air pendingin menuju menara pendingin. Pada



menara pendingin, air didinginkan oleh udara luar yang bertemperatur bola basah sekitar 28 °C. Akibatnya temperatur air menjadi 32 °C dan kembali menuju *chiller*.

#### 8.1.4. Kinerja *Chiller*

**Bagaimana mengetahui kinerja *chiller*?** Kinerja *chiller* diketahui dari koefisien kinerja yang disebut *coefficient of performance* (COP). COP sebuah *chiller* diperoleh dari perbandingan kapasitas *chiller* dengan daya listrik yang digunakan. Daya listrik *chiller* dapat diperoleh dari pengukuran data kelistrikan. Sedangkan kapasitas *chiller* diperoleh dari pengukuran selisih temperatur air masuk dan keluar evaporator serta laju aliran air. Sehingga nilai COP *chiller* terlihat pada persamaan berikut:

$$COP = \frac{\rho \cdot V_{ev} \cdot C (T_{ev-i} - T_{ev-o})}{P}$$

Keterangan:

- $\rho$  = masa jenis air, [1 kg/l]
- $V_{ev}$  = laju aliran air melewati evaporator, [l/s]
- $C$  = kapasitas termal air, [4,2 kJ/kg.°C]
- $T_{ev-i}$  = temperatur air masuk evaporator, [°C]
- $T_{ev-o}$  = temperatur air keluar evaporator, [°C]
- $P$  = daya listrik *chiller*, [kW]

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$COP = \frac{4,2 V_{ev} (T_{ev-i} - T_{ev-o})}{P}$$

Keterangan:

- $V_{ev}$  = laju aliran air melewati evaporator, [l/s]
- $T_{ev-i}$  = temperatur air masuk evaporator, [°C]
- $T_{ev-o}$  = temperatur air keluar evaporator, [°C]
- $P$  = daya listrik *chiller*, [kW]

Pada *chiller* tipe *water-cooled*, apabila pengukuran pada sisi evaporator tidak dapat dilakukan maka COP *chiller* dapat didekati melalui pengukuran pada sisi kondenser. Kapasitas pada kondenser adalah penjumlahan kapasitas *chiller* dengan konsumsi daya listriknya, yaitu:

$$Q_{cd} \approx Q_{ev} + P$$

Keterangan:

- $Q_{cd}$  = kapasitas pada kondenser, [kW]
- $Q_{ev}$  = kapasitas pada evaporator, [kW]
- $P$  = daya listrik *chiller*, [kW]

Sehingga kapasitas *chiller* adalah pengurangan kapasitas kondenser dengan konsumsi energi listriknya. Sedangkan:

$$Q_{ev} \approx Q_{cd} - P$$

Sehingga kinerja *chiller* menjadi:

$$COP \approx \left[ \frac{4,2V_{cd}(T_{cd-o} - T_{cd-i})}{P} \right] - 1$$

Keterangan:

$V_{cd}$  = laju aliran air melalui kondenser, [l/s]

$T_{cd-o}$  = temperatur air keluar kondeneser, [°C]

$T_{cd-i}$  = temperatur air masuk kondenser, [°C]

$P$  = daya listrik *chiller*, [kW]

Adapun untuk menghitung kinerja sistem *chiller* secara keseluruhan diperoleh dari perbandingan kapasitas total sistem *chiller* dengan daya totalnya. Sehingga kinerja sistem secara keseluruhan menjadi:

$$COP_{sis} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

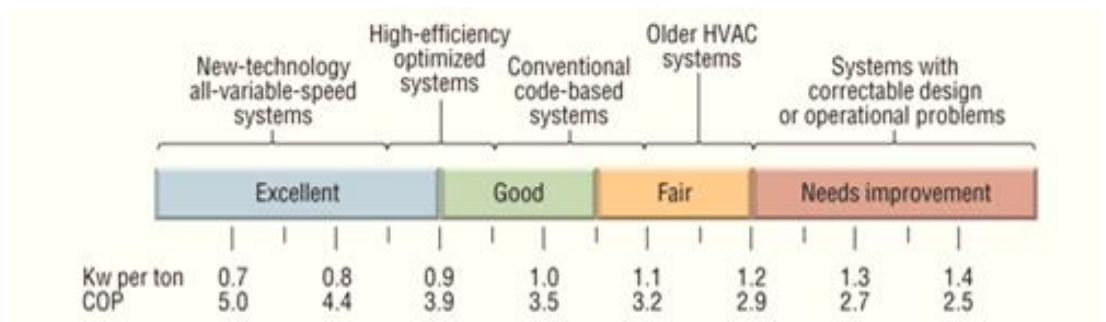
#### 8.1.4.1. Acuan Kinerja Chiller

Berapa nilai kinerja *chiller* yang baik? Untuk menilai kinerja suatu *chiller*, dilakukan perbandingan dengan suatu nilai acuan. Adapun acuan yang dapat digunakan adalah:

- Nilai spesifikasi kinerja *chiller* itu sendiri, adalah nilai berdasarkan dokumen spesifikasi *chiller* atau data awal operasional *chiller* (*commissioning data*). Nilai ini berguna dalam menentukan penurunan kinerja *chiller* sesungguhnya.
- Nilai standar kinerja *chiller*, adalah nilai berdasarkan standar tertentu atau peraturan yang berlaku. Nilai ini berguna dalam menentukan tingkat efisiensi *chiller*. Pada Tabel 8-1 tampak contoh nilai-nilai acuan berdasarkan beberapa standar dan peraturan yang ada saat ini.
- Nilai kinerja *chiller* baru yang ada di pasaran. Nilai ini berguna dalam menentukan peluang penghematan yang dapat dilakukan. Berdasarkan jurnal ASHRAE, kondisi kinerja *chiller* berdasarkan waktu tampak pada Gambar 8-9.

Tabel 8-1  
Efisiensi minimum *chiller* sesuai SNI 6390-2011

Tipe Mesin Refrigerasi	Efisiensi minimum	
	COP	kW/TR
<i>Air Cooled Chiller</i> < 150 TR ( <i>reciprocating</i> )	2,80	1,256
<i>Air Cooled Chiller</i> < 150 TR ( <i>screw</i> )	2,90	1,213
<i>Air Cooled Chiller</i> > 150 TR ( <i>reciprocating</i> )	2,80	1,256
<i>Air Cooled Chiller</i> > 150 TR ( <i>screw</i> )	3,00	1,172
<i>Water Cooled Chiller</i> < 150 TR ( <i>reciprocating</i> )	4,00	0,879
<i>Water Cooled Chiller</i> < 150 TR ( <i>screw</i> )	4,10	0,858
<i>Water Cooled Chiller</i> > 150 TR ( <i>reciprocating</i> )	4,26	0,826
<i>Water Cooled Chiller</i> > 150 TR ( <i>screw</i> )	4,40	0,799
<i>Water Cooled Chiller</i> > 150 TR ( <i>centrifugal</i> )	6,05	0,581



(Sumber: <http://hpac.com>)

Gambar 8-9. Kinerja *chiller* berdasarkan ASHRAE.

#### 8.1.4.2. Faktor Kinerja *Chiller* dan Pemborosan Energi

Apa faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*? Ada banyak faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*. Namun secara umum ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu:

- Pembebanan *chiller***, umumnya karakteristik kinerja setiap *chiller* berdasarkan pembebanan kerja terhadap kapasitasnya.
- Kerusakan mesin *chiller***, seperti kerusakan pada gulungan motor atau terjadi keausan pada komponen yang bergerak. Kerusakan pada komponen utama *chiller* akan sangat mempengaruhi kinerja *chiller*.

- c. **Modifikasi**, seperti penggantian refrigeran R-22 dengan hidrokarbon atau penggantian komponen yang beda dengan aslinya. Penggantian komponen yang tidak sesuai dengan sifat kerja mesin atau lebih rendah kualitasnya mengurangi kapasitas dan kinerja *chiller*.
- d. **Kesalahan pengaturan temperatur air *chiller***, hal ini disebabkan oleh kesalahan manusia atau kerusakan sistem pengaturan. Nilai temperatur pengaturan umumnya adalah nilai optimal kinerja *chiller*.
- e. **Jumlah refrigeran kurang atau berlebih**, hal ini disebabkan faktor pengisian atau kebocoran. Jumlah refrigeran menentukan tekanan kerja atas dan bawah mesin *chiller*. Sedangkan tekanan kerja *chiller* mempengaruhi kinerja *chiller*.
- f. **Pengerakan (*scaling*) pada koil evaporator atau kondenser**, pengerakan menyebabkan terhambatnya proses perpindahan panas antara air dan refrigeran. Apabila proses pertukaran ini terhambat maka kapasitas dan kinerja *chiller* terganggu.
- g. **Debit air kurang**, semakin besar air yang melewati evaporator atau kondenser maka semakin baik pula proses pertukaran panas antara air dan refrigeran. Sehingga apabila debit air kurang maka kemampuan pertukaran panas pun akan berkurang.
- h. **Temperatur udara luar tinggi**, faktor ini adalah faktor alami yang tidak dapat dihindari. Semakin tinggi temperatur udara luar semakin sulit untuk mendinginkan *chiller*.
- i. **Sirkulasi udara pendingin kurang baik**, hal ini terjadi di kondenser pada tipe *air-cooled* dan di menara pendingin pada tipe *water-cooled*. Sirkulasi yang buruk menyebabkan udara panas berkumpul di sekitar *chiller* atau menara pendingin. Akibatnya udara yang mendinginkan *chiller* atau yang masuk ke menara pendingin lebih tinggi dari udara luar.

Oleh sebab itu, pada kegiatan evaluasi kinerja terhadap *chiller* perlu dilakukan pemeriksaan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*. Sehingga masalah pada kinerja *chiller* dapat diketahui penyebabnya.

Sedangkan apa sumber-sumber pemborosan energi pada *chiller*? Di antara sumber-sumber penting pemborosan pada *chiller*, yaitu:

- a. **Waktu operasional yang berlebih**, seperti waktu menghidupkan *chiller* lebih cepat dari kebutuhan atau mematikannya melewati masa dibutuhkan sesungguhnya.
- b. **Isolasi pipa yang tidak baik**, hal ini menyebabkan terjadinya terbuangnya “dingin” pada saluran pipa distribusi air dingin.

### 8.1.5. Satuan-satuan

Pada pelaksanaan audit *chiller* banyak dijumpai satuan-satuan selain satuan standar internasional (SI). Beberapa satuan yang perlu diketahui di antaranya:

a.	Temperatur	°F	=	1,8 °C + 32
		K	=	1 °C + 273
b.	Tekanan	1 bar	=	100 kPa
		1 psi	=	6,895 kPa
		1 kg/cm <sup>2</sup>	=	98,07 kPa
		1 in.Wg	=	0,249 kPa
c.	Laju aliran	1 gpm	=	0,227 m <sup>3</sup> /jam
d.	Daya	1 W	=	3,415 btuh/h
		1 kcal/h	=	1,163 W
		1 TR	=	12.000 btuh
			=	3.516 W
		1 HP	=	745,7 W
e.	Kinerja	1 COP	=	3,41 EER
		1 kW/TR	=	3,52/COP

## 8.2. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM *CHILLER*

Untuk memulai persiapan audit energi pada sistem *chiller* sebaiknya terlebih dahulu telah diperoleh data awal informasi industri/pabrik yang akan diaudit energinya. Data awal yang dimaksudkan di sini dapat diperoleh dengan 2 cara, yaitu:

- mengirimkan sebuah kuesioner atau Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran L 1-1), atau
- datang ke pabrik yang akan diaudit energinya untuk melakukan survei awal.

Apabila pilihan b) yang dilaksanakan maka pada saat survei awal tersebut Lembar Isian Data Awal Informasi Industri (Lampiran L 1-1) juga dibawa serta sebagai panduan sekaligus diisi. Pilihan b) lebih menguntungkan karena Tim Survei (Awal) dapat memperoleh informasi yang lebih lengkap bila dibandingkan dengan mengandalkan data yang diisi oleh pihak pabrik melalui kuesioner.

Data awal ini sangat diperlukan untuk melakukan persiapan audit energi pada sistem *chiller*. Hal ini dikarenakan melalui data awal akan diperoleh informasi penting dan pokok, meliputi:

- Jumlah *chiller*;
- Spesifikasi *chiller*: merek, tipe *chiller*, tipe kompresor, jenis refrigeran, kapasitas, COP, dan tahun pembuatan/ operasional;
- Peralatan ukur yang terpasang serta kondisinya.

Berdasarkan data awal tersebut di atas maka persiapan untuk melakukan audit energi pada sistem *chiller* dapat dilakukan, meliputi:

1. Pembentukan tim dan pembagian tugas persiapan;
2. Persiapan administrasi dan teknis;
3. Persiapan dan pengarahan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3);
4. Mobilisasi Personil dan Peralatan.

## 8.2.1. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

### 8.2.1.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan informasi dari data awal tersebut di atas maka dapat dipersiapkan jumlah dan keahlian personil yang akan melaksanakan audit energi, yaitu:

- a) Ahli HVAC atau sistem termal (1 orang) selaku koordinator tim;
- b) Teknisi (jumlah dan keahlian disesuaikan), untuk pengukuran:
  - Kelistrikan : tegangan, arus, daya listrik, faktor daya;
  - Termal : laju air pendingin, temperatur air masuk, temperatur air keluar;
  - Data penunjang : tekanan refrigeran masuk dan keluar, tekanan air masuk dan keluar, data pada panel *chiller*.

### 8.2.1.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem *chiller*. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem *Chiller* (lihat Lampiran 1-8) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem *chiller* di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem *Chiller* (Lampiran 1-8); serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Melakukan analisis data yang dihasilkan dan menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem *chiller* ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim

dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;

- i). Apabila audit energi pada sistem *chiller* ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem *chiller* saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### Teknisi bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem *chiller*. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- b). Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- c). Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem *Chiller* (Lampiran 1-8);
- d). Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem *chiller*.

## **8.2.2. Persiapan Administrasi dan Teknis**

### **8.2.2.1. Persiapan Administrasi**

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 8.2.1.2. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Di samping itu juga biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

### **8.2.2.2. Persiapan Teknis**

Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Peralatan audit energi pada sistem *chiller* terdiri atas peralatan-peralatan ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*). Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi sehingga akan menjamin ketepatan atau keakuratan nilai yang diperolehnya.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:






- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.

- a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.



#### A. Alat Ukur

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data primer dapat dilihat pada Tabel 8-2.

Tabel 8-2  
Daftar peralatan pengukuran *chiller*

Peralatan		Fungsi	Gambar
A Kelistrikan			
1	<i>Power Analyzer</i>	Alat untuk mengukur dan merekam data kelistrikan	
2	<i>Clamp-on Power Analyzer</i>	Alat untuk mengukur data kelistrikan secara sesaat	
B Termal			
1	<i>Ultrasonic Flowmeter</i>	Alat untuk mengukur aliran air di dalam pipa	
2	<i>Pipe Temperature Sensor</i>	Alat untuk mengukur suhu dalam pipa	
C Penunjang			
1	<i>Temperature &amp; Humidity meter</i>	Alat untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara	



2	<i>Anemometer</i>	Alat untuk mengukur aliran udara	
3	<i>Tube Pressure Gauge</i>	Alat untuk mengukur tekanan air dalam pipa	

## B. Alat Pendukung

Alat pendukung yang diperlukan meliputi:

### 1. Alat Ukur Panjang (Meteran) dan Peralatan Mekanik \*)



Meteran

(<http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20>)



Peralatan Mekanik

(<http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html>)

### 2. Kabel (Gulung) Listrik serta Pompa Hampa dan Pendingin Gas Buang \*)



Kabel-Gulung Listrik

(25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets)  
(<http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/>)



CCL-21

Pompa Vakum

<http://www.javac.co.uk/ccl-laboratory-vacuum-pump-uk-pr-16268.html>

### 3. Tangga Lipat dan Kamera Digital \*)



Tangga Lipat

(<http://www.tangga-lipat.co/2012/10/tangga-lipat-aluminium-praktis.html>)



Kamera Digital

(<http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/>)

Catatan : \*) Daftar peralatan tersebut di atas dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### C. Alat Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3)

Peralatan keselamatan dan kesehatan kerja yang diperlukan meliputi:

- Pelindung kepala (helm), telinga, mulut, dan hidung;
- Sarung tangan kain biasa dan tebal;
- Kaca mata;
- Pakaian (baju dan celana panjang). Pada industri tertentu, jenis *coverall*;
- Sabuk pengaman;
- Sepatu.

Ilustrasi peralatan keselamatan kerja untuk audit energi pada sistem *chiller* di industri dapat dilihat pada Gambar 8-10.

 <p>Pelindung kepala (helmet) (<a href="http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603">http://kolkata.all.biz/safety-helmet-g26603</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga (<a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a>)</p>	 <p>Pelindung telinga (<i>ear plug</i>) (<a href="http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html">http://www.kenessgh.com/c/se/1335/Head-Protection.html</a>)</p>
 <p>Hornets safety glasses (Kacamata keselamatan) (<a href="http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a>)</p>	 <p>Pelindung hidung-mulut (masks) (<a href="http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230">http://www.ebay.com/itm/Safety-Chemical-Gas-Respirator-Safety-Dust-Paint-Filter-Mask-/181068707230</a>)</p>	 <p>Pelindung mulut dan hidung (<a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a>)</p>
 <p>Pelindung hidung-mulut (masks) (<a href="http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607">http://kolkata.all.biz/safety-mask-g26607</a>)</p>	 <p>Sarung-tangan kain (<a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a>)</p>	 <p>Sarung tangan anti panas <a href="http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80">http://ranpro.com/en/industries/extreme-heat.html?page=shop.product_details&amp;flypage=flypage.tpl&amp;product_id=170&amp;category_id=80</a></p>
 <p>Pakaian keselamatan (<a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a>)</p>	 <p>Tali/sabuk Pengaman (<a href="http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html">http://www.indiamart.com/phoenix-safety/safety-belts.html</a>)</p>	 <p>Lampu senter (<a href="http://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">http://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a>)</p>

Catatan : Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Gambar 8-10. Ilustrasi perlengkapan keselamatan dan kesehatan kerja (K-3) untuk audit energi pada sistem *chiller* di industri.

### 8.2.3. Persiapan dan Pengarahan K-3

Sebelum anggota tim diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, Koordinator wajib mengingatkan atau memberikan pengarahan (*briefing*) di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau lazim dikenal dengan sebutan K-3. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

### 8.2.4. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

## 8.3. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER

Jenis data yang dikumpulkan terdiri dari dua macam yaitu data-data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara. Sedangkan data sekunder adalah data yang terdapat pada dokumen dan papan nama (*name plate*). Data primer umumnya merupakan data yang dianalisis. Sedangkan data sekunder umumnya merupakan acuan untuk analisis.

Untuk memvalidasi data yang dikumpulkan, maka perlu dilakukan verifikasi data. Verifikasi data dapat dilakukan dengan melihat kewajaran data dan wawancara terhadap pihak yang terkait.

### 8.3.1. Pengumpulan Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan untuk mengetahui kondisi aktual dari operasional dan kinerja sistem *chiller*. Untuk mendapatkan informasi tersebut, dikumpulkan data-data sebagai berikut :

1. Data kelistrikan
2. Data termal
3. Data penunjang lainnya

### 8.3.1.1. Data Pengukuran

Data pengukuran mencakup data kelistrikan, termal, dan penunjang dengan rincian seperti tampak pada Tabel 8-3.

Tabel 8-3  
Daftar data pengukuran

No	Data
<b>A</b>	<b>Data kelistrikan</b>
1	Data listrik <i>chiller</i> periodik: - Arus - Tegangan - Daya - Daya reaktif - Faktor daya - Energi - Energi reaktif
2	Data listrik <i>chiller</i> sesaat: - Arus - Tegangan - Daya - Faktor daya
3	Kestabilan daya
<b>B</b>	<b>Data termal</b>
1	Data termal evaporator <i>chiller</i> : - Temperatur air masuk - Temperatur air keluar - Laju aliran air
2	Data termal kondenser <i>chiller (tipe water-cooled)</i> : - Temperatur air masuk - Temperatur air keluar - Laju aliran air
3	Data termal kondenser <i>chiller (tipe air-cooled)</i> : - Temperatur udara masuk - Temperatur udara keluar - Temperatur udara luar
4	Data termal menara pendingin: - Temperatur udara luar - Kelembaban udara luar - Temperatur udara masuk - Kelembaban udara masuk - Temperatur udara keluar - Kelembaban udara keluar
<b>C</b>	<b>Data pelengkap</b>
1	Penurunan tekanan pada evaporator: - Tekanan air masuk - Tekanan air keluar
2	Penurunan tekanan pada kondenser: - Tekanan air masuk - Tekanan air keluar
3	Data kerja refrigeran: - Temperatur/ tekanan atas refrigeran - Temperatur/ tekanan bawah refrigeran
4	Data kebocoran “dingin” pipa distribusi: - Temperatur air pendingin di hulu (keluar <i>chiller</i> ) - Temperatur air pendingin di hilir (masuk beban)
5	Data layar panel <i>chiller</i> : - Temperatur pengaturan - Semua data listrik, termal, dan pelengkap sebagai pembanding - <i>Temperature approach</i>

### 8.3.1.2. Waktu dan Periode Pengukuran

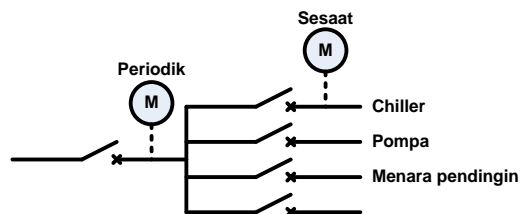
Waktu dan periode pengukuran berbeda-beda pada setiap data. Perbedaan ini mengikuti jenis data sesuai keperluan analisisnya. Secara umum, jenis data terbagi menjadi dua:

1. Data periodik, merupakan data profil kerja *chiller*. Data periodik sebaiknya direkam sekurang-kurangnya selama 1 minggu dengan interval maksimal 1 jam;
2. Data sesaat, merupakan data kinerja *chiller* serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Semua data sesaat sebaiknya diambil dalam waktu yang relatif bersamaan. Selain itu pula, data sesaat sebaiknya diambil sekurang-kurangnya pada dua waktu berbeda, yaitu pagi hari antara pukul 09:00-11:00 dan siang hari antara pukul 13:00-15:00.

### 8.3.1.3. Titik Pengukuran

#### A. Data Kelistrikan

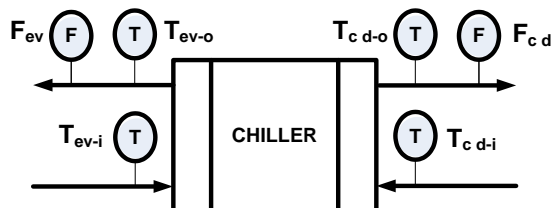
Data kelistrikan periodik diambil pada panel yang mencakup *chiller*, pompa *chiller*, serta menara pendingin. Sedangkan data sesaat diambil pada tiap-tiap jalur catu daya ke masing-masing peralatan yang ingin diukur dan tidak bersatu dengan peralatan lainnya. Titik pengukuran data kelistrikan tampak pada Gambar 8-11.



Gambar 8-11. Titik pengukuran data kelistrikan.

#### B. Data Termal

Data termal *chiller* diambil pada pipa masuk dan keluar evaporator dan kondenser *chiller*. Data yang diambil meliputi temperatur air masuk dan keluar serta debit aliran air pada evaporator dan/atau kondenser. Titik pengukuran data termal tampak pada Gambar 8-12.



Gambar 8-12. Titik pengukuran data termal.

### C. Data Pendukung

#### - Kerusakan dan Modifikasi

Data kerusakan dan modifikasi pada tahap awal dapat ditelusuri dari wawancara dengan pengelola gedung/peralatan. Dalam wawancara tersebut perlu ditelusuri sebab-sebab terjadinya kerusakan dan modifikasi. Selain itu juga informasi cara-cara pengoperasian dan perawatan yang mungkin mempengaruhi kondisi peralatan.

Adapun secara kuantitatif beberapa kondisi peralatan dapat diketahui dari pengukuran kelistrikan. Selain itu kerusakan dapat ditandai pula dengan adanya kebocoran arus serta panas, bising, dan vibrasi yang tidak normal.

#### - Pengaturan *Chiller*

Data *setting chiller* dapat dilihat di panel *chiller*, contohnya pada Gambar 8-13. Data yang diambil adalah data *setting* temperatur keluar evaporator.



(Sumber: <http://www.surplus-used-equipment.com>)

Gambar 8-13. Layar panel *chiller*

#### - Jumlah Refrigeran

Jumlah refrigeran dapat dilihat melalui indikator tekanan atas dan bawah refrigeran, seperti pada Gambar 8-14. Sebagai alternatif dan pembanding dapat pula dilihat dari temperatur kerja refrigeran di panel *chiller*.



(Sumber: <http://shanghaimeluck.en.alibaba.com>)

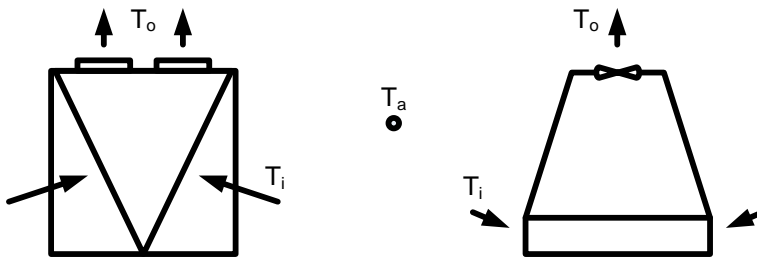
Gambar 8-14. Indikator tekanan kerja *chiller*.

#### - Pengerakan (*Scaling*)

Pengerakan yang terjadi pada koil evaporator kondenser *chiller* dapat diketahui dari perbedaan temperatur antara refrigeran dengan air keluar koil (*temperature approach*). Sebagai alternatif dan pembanding dapat pula dilihat dari penurunan tekanan air yang melewati koil. Kemudian nilai ini dibandingkan dengan grafik penurunan tekanan air terhadap debit aliran pada spesifikasi *chiller*/koil.

#### - Sirkulasi Udara Pendingin

Masalah sirkulasi singkat pada udara pendingin di kondenser/menara pendingin diketahui persentase udara buangan (keluar) yang masuk kembali untuk mendinginkan. Untuk itu perlu diambil data udara lingkungan, udara masuk, dan udara keluar pendingin. Titik pengukurannya tampak pada Gambar 8-15.



Gambar 8-15. Titik pengukuran data sirkulasi udara pendingin.

#### - Kebocoran “Dingin” Pada Isolasi Pipa

Kisaran kebocoran energi sepanjang pipa distribusi diketahui dari selisih temperatur air pendingin pada hulu dan hilirnya.

### 8.3.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang dikumpulkan adalah:

- a. *As built drawing* yang mencakup gambar diagram sistem *chiller*, *layout* instalasi, dan daftar peralatan;
- b. Dokumen spesifikasi teknik *chiller*;
- c. Dokumen awal operasional *chiller* (data komisioning);
- d. Catatan rutin operasional *chiller*;
- e. Riwayat perbaikan dan penggantian *chiller*.

Secara umum, data sekunder yang terkait kondisi awal *chiller* tampak pada Tabel 8-4.

Tabel 8-4  
Daftar data sekunder *chiller*

No	Data
1	Data konfigurasi <i>chiller</i> : - Nama zona - Area yang dilayani - No. Kode - Jumlah - Total kapasitas - Total beban - Jam operasional - Kontrol beban (auto/manual)
2	Data spesifikasi <i>chiller</i> : - Kode - Tipe ( <i>air cooled/ water cooled</i> ) - Merk - Nomor tipe dari pabrikan - Kapasitas - Data kelistrikan (V, Ø, Hz) - Daya input rata-rata - Faktor daya - COP/ EER/ kW/TR - Refrigeran - Tipe kompresor - Jumlah kompresor - Daya per kompresor - Tahun - Lokasi
3	Data desain awal <i>chiller</i> : - Temperatur air masuk evaporator - Temperatur air keluar evaporator - Debit air <i>chiller</i> - Temperatur air masuk kondenser - Temperatur air keluar kondenser - Debit air <i>cooling tower</i> - Temperatur udara luar - Kelembaban udara luar

### 8.3.3. Verifikasi Data

Verifikasi data berguna untuk memeriksa kelengkapan dan keabsahan data primer dan sekunder. Verifikasi data dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Melakukan perhitungan cepat. Dengan melakukan perhitungan cepat ini dapat diketahui lengkap tidaknya data yang telah diperoleh;
- Melihat kewajaran data. Dengan melihat data yang dikumpulkan dan hasil perhitungan cepat maka dapat dilihat kewajaran suatu data terhadap keumumannya;
- Wawancara, yaitu mencari masukan terhadap data yang dikumpulkan dan hasil perhitungan cepat kepada pihak-pihak terkait.

## 8.4. ANALISIS

Analisis pada audit *chiller* meliputi analisis beban dan kinerja. Masing-masing jenis analisis tersebut mencakup:

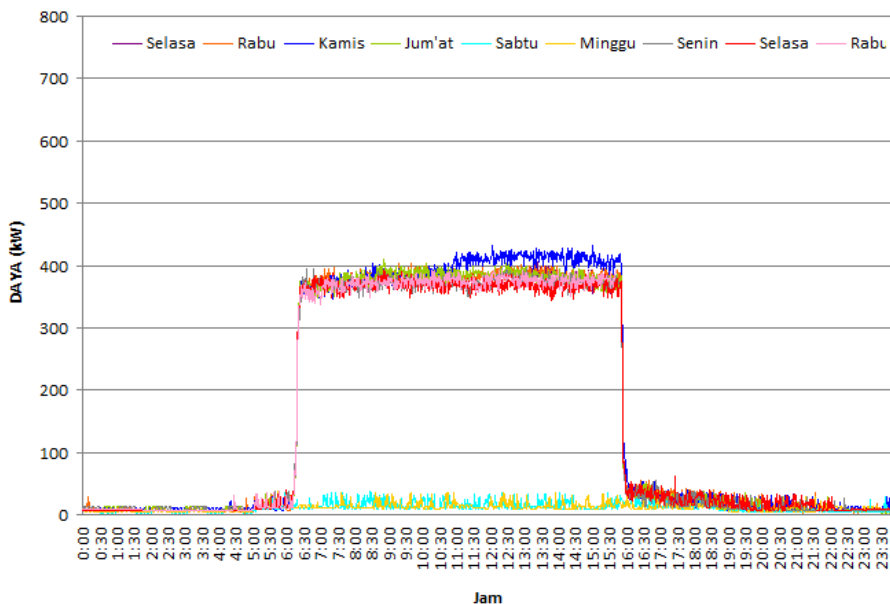
- Analisis beban kerja
  - Operasional rutin
  - Pembebanan kerja
- Analisis kinerja *chiller*
  - Nilai kinerja *chiller*



- Faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*, yaitu kerusakan, pengaturan temperatur, jumlah refrigeran, pengerakan, serta debit air dan sirkulasi udara.

### 8.4.1. Operasional Rutin

Profil operasional rutin suatu *chiller* adalah gambaran kerja rutin *chiller* berdasarkan konsumsi daya listriknya dalam satu rentang waktu (periode) pada siklus yang relatif sama. Profil operasional rutin dapat berupa profil harian, mingguan ataupun kombinasi keduanya. Contoh profil operasional kerja rutin *chiller* kombinnasi harian dan mingguan tampak pada Gambar 8-16.



Gambar 8-16. Profil harian operasional *chiller*.

Analisis yang dapat dilakukan berdasarkan profil kerja mesin ini di antaranya:

- Waktu operasional *chiller*. Perlu dianalisis waktu *chiller* dihidupkan dan dimatikan terhadap kebutuhan sesungguhnya. Apabila terjadi kelebihan waktu operasional maka dapat dilakukan penghematan sebesar:

$$\frac{\text{Penghematan}}{\text{bulan}} = \text{Energi berlebih} \times \frac{30}{7} \times \text{tariflistrik}$$

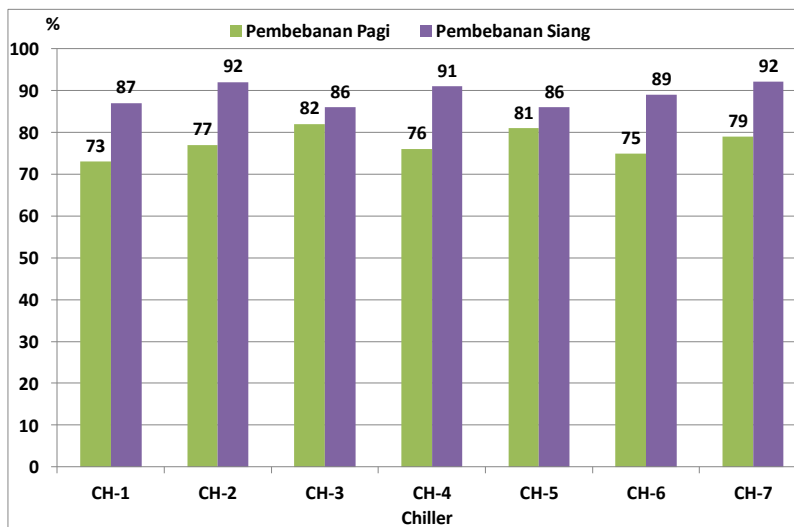
Adapun persentasenya sebesar :

$$\% \text{ Penghematan} = \frac{\text{Energi berlebih}}{\text{Energi total}} \times 100\%$$

- Mekanisme operasional *chiller*. Perlu dianalisis urutan kerja *chiller* dengan perangkat pendukungnya seperti pompa dan *cooling tower*. Sebaiknya *chiller* dinyalakan beberapa saat setelah pompa dan *cooling tower* dihidupkan, kemudian *chiller* dimatikan beberapa saat sebelum pompa dan *cooling tower* dimatikan.
- Faktor beban kerja *chiller*. Perlu dianalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kenaikan daya kerja *chiller* harian berdasarkan grafik profilnya. Sebagai contoh, beban sangat dipengaruhi lingkungan. Pada siang hari beban besar atau dipengaruhi oleh suatu peralatan tertentu yang menghasilkan panas.

#### 8.4.2. Pembebanan Kerja

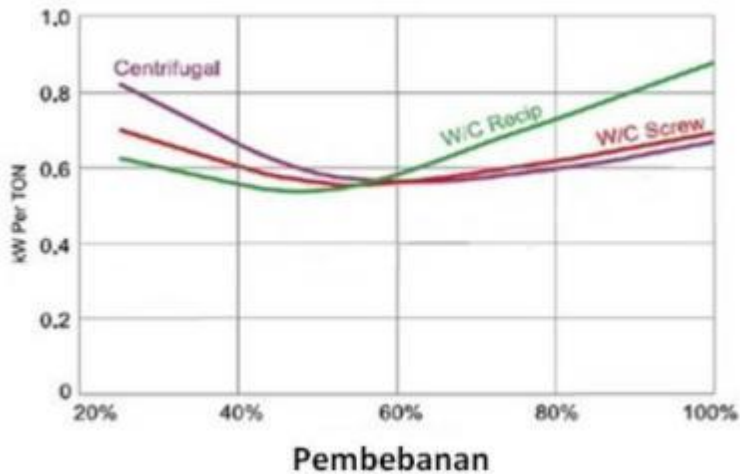
Pembebanan kerja *chiller* adalah perbandingan kapasitas kerja *chiller* dengan kapasitas maksimalnya. Contoh data pembebanan *chiller* tampak pada Gambar 8-17.



Gambar 8-17. Grafik pembebanan kerja *chiller*.

Analisis yang dapat dilakukan berdasarkan data pembebanan *chiller* di antaranya:

- Optimalisasi kerja *chiller*. Setiap *chiller* dalam satu sistem bekerja pada rentang pembebanan yang memiliki kinerja tertinggi. Contoh kinerja *chiller* terhadap pembebanan kerjanya dapat dilihat pada Gambar 8-18.



Sumber : data industri generik untuk water cooled *chiller* 250 TR

Gambar 8-18. Grafik konsumsi daya listrik (kW/TR) terhadap pembebanan *chiller*.

Besarnya penghematan yang dapat dilakukan dengan mengatur pembebanan *chiller* atau sistem *chiller* sebesar:

$$\% \text{ Penghematan} = \frac{\text{kW/TR nyata} - \text{kW/TR optimal}}{\text{kW/TR nyata}} \times 100\%$$

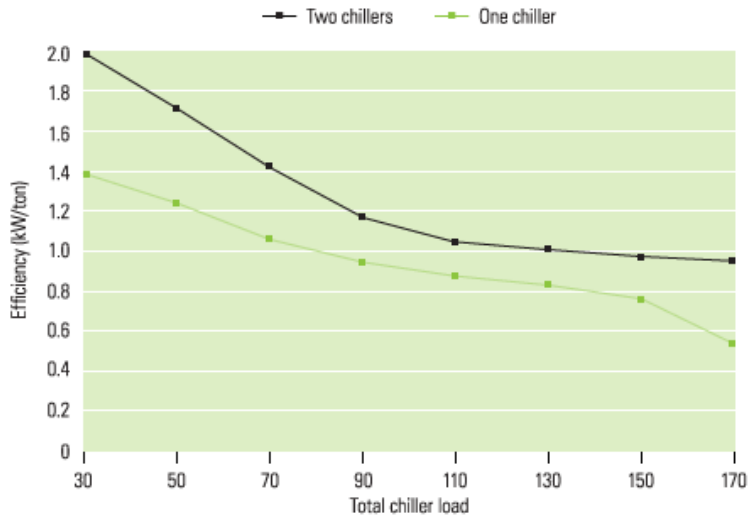
Atau:

$$\% \text{ Penghematan} = \frac{\text{COP optimal} - \text{COP nyata}}{\text{COP optimal}} \times 100\%$$

Adapun besar penghematannya sebesar:

$$\frac{\text{Penghematan}}{\text{bulan}} = \frac{\text{Energi chiller}}{\text{bulan}} \times \% \text{ Penghematan} \times \text{tarif listrik}$$

- Pembagian kerja *chiller*. Untuk melakukan optimalisasi pembebanan kerja *chiller* diperlukan mekanisme pembagian kerja *chiller* berdasarkan profil beban kerjanya seperti pada Gambar 8-19. Pembagian kerja *chiller* berguna pula untuk pemerataan jam kerja *chiller* serta pemeliharaan.



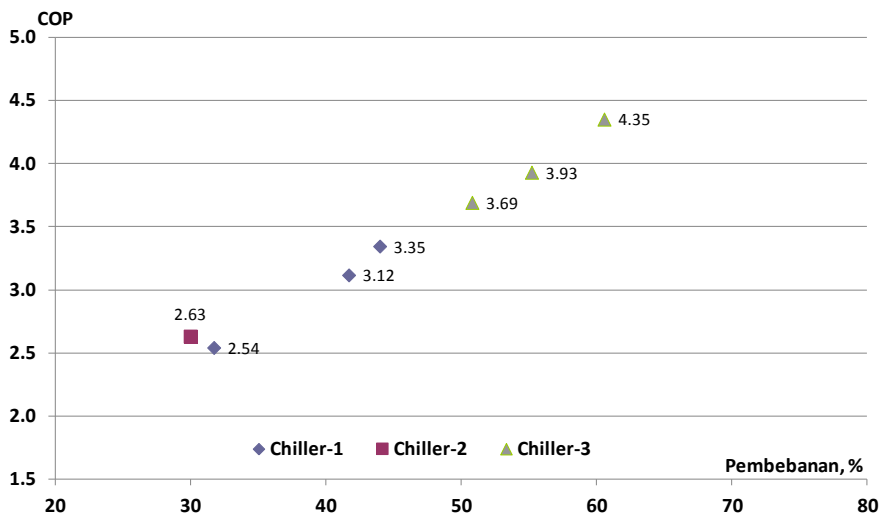
© E source; data from San Diego Gas & Electric

Sumber : [http://fpl.bizenergyadvisor.com/members/CEMC-OMCK-3/OM\\_Checklist/Electric\\_Chilled\\_Water\\_Systems](http://fpl.bizenergyadvisor.com/members/CEMC-OMCK-3/OM_Checklist/Electric_Chilled_Water_Systems)

Gambar 8-19. Grafik perbandingan konsumsi daya listrik (kw/TR) terhadap pembebanan *chiller* untuk satu dan unit *chiller*.

### 8.4.3. Kinerja *Chiller*

Perhitungan kinerja *chiller* atau sistem *chiller* dapat dilihat pada butir 8.1.4. Hasil dari perhitungan tersebut adalah gambaran kondisi efisiensi *chiller* yang sesungguhnya. Contoh data kinerja *chiller* tampak pada Gambar 8-20.



Gambar 8-20. Grafik pembebanan kerja *chiller*.

Analisis yang dapat dilakukan terhadap nilai kinerja *chiller* adalah:

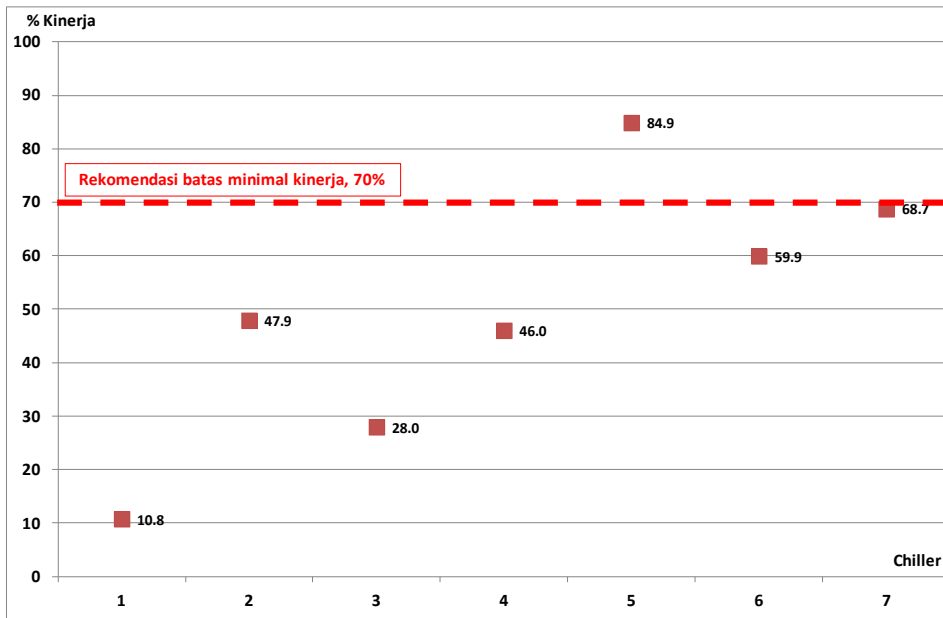
- Penurunan kinerja. Kinerja *chiller* yang diperoleh dibandingkan dengan kinerjanya pada saat awal operasional (data komisioning) atau spesifikasi teknisnya. Nilai penurunan kinerja *chiller* dari kondisi awalnya sebesar:

$$\% \text{ Penurunan kinerja} = \frac{\text{COP awal} - \text{COP sekarang}}{\text{COP awal}} \times 100\%$$

Atau:

$$\% \text{ Penurunan kinerja} = \frac{\text{kW/TR sekarang} - \text{kW/TR awal}}{\text{kW/TR sekarang}} \times 100\%$$

Pada Gambar 8-21 tampak contoh hasil pengukuran tingkat kinerja beberapa *chiller* terhadap kinerja awalnya. Dimana 6 dari 7 *chiller* memiliki kinerja dibawah 70% dari semula. Hal ini disebabkan berbagai masalah serta umur *chiller* yang sudah lebih dari masa layak pakainya.



Gambar 8-21. Grafik kinerja *chiller* terhadap kinerja awalnya.

- Effisiensi *chiller*, dimana kinerja *chiller* yang diperoleh di bandingkan dengan nilai standar atau peraturan yang berlaku. Nilai tingkat kinerja *chiller* berdasarkan nilai standar sebesar:

$$\% \text{ Tingkat kinerja} = \frac{\text{COP nyata}}{\text{COP standar}} \times 100\%$$

Atau:

$$\% \text{ Tingkat kinerja} = \frac{\text{kW/TR standar}}{\text{kW/TR nyata}} \times 100\%$$

- Peluang penghematan, dimana kinerja *chiller* yang diperoleh dibandingkan dengan nilai efisiensi *chiller* baru yang ada di pasaran. Besaran peluang penghematan yang dapat dilakukan adalah:

$$\% \text{ Penghematan} = \frac{\text{kW/TR nyata} - \text{kW/TR chiller baru}}{\text{kW/TR nyata}} \times 100\%$$

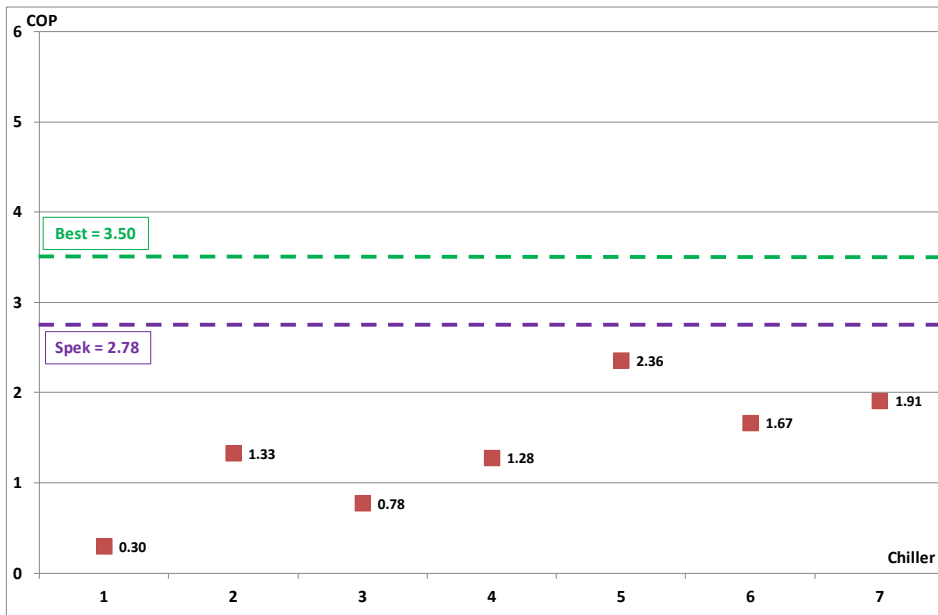
Atau :

$$\% \text{ Penghematan} = \frac{\text{COP chiller baru} - \text{COP nyata}}{\text{COP chiller baru}} \times 100\%$$

Adapun besar penghematannya sebesar:

$$\frac{\text{Penghematan}}{\text{bulan}} = \frac{\text{Energi chiller}}{\text{bulan}} \times \% \text{ Penghematan} \times \text{tarif listrik}$$

Pada Gambar 8-22 tampak contoh hasil pengukuran tingkat kinerja beberapa *chiller* terhadap kinerja awalnya dan kinerja *chiller* terbaik yang ada di pasaran. Dari grafik tersebut tampak adanya peluang penghematan yang dapat dilakukan dengan pengantian *chiller*.



Gambar 8-22. Grafik kinerja *chiller* terhadap kinerja awal dan kinerja *chiller* terbaik di pasaran.

#### 8.4.4. Faktor-faktor Lain

Selain faktor pembebananan, perlu dianalisis pula faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*, yaitu:

- Kerusakan. Ini dapat diketahui dari pengamatan langsung seperti adanya kebocoran arus, panas, bising atau vibrasi yang tidak normal. Adapun dari pengukuran data kelistrikan seperti faktor daya yang rendah atau fluktuasi daya *chiller* yang cepat.

Panas dan faktor daya yang rendah dapat menjadi gejala awal kerusakan yang sifatnya menghambat putaran motor seperti keausan, terjadinya sumbatan aliran dan friksi lainnya. Sedangkan kebocoran arus, vibrasi, dan bising yang tidak wajar merupakan gejala lebih lanjut terjadinya kerusakan. Adapun fluktuasi daya *chiller* yang cepat menandakan terjadi kerusakan gulungan motor;

- Modifikasi. Ini dapat meningkatkan atau menurunkan kinerja atau penghematan suatu peralatan. Modifikasi yang positif dapat berupa peningkatan spesifikasi komponen peralatan atau pemanfaatan energi yang terbuang. Sebagai contoh penggunaan VSD dan *heat recovery* pada *chiller*.

Sedangkan modifikasi yang negatif dapat berupa penggantian komponen dengan spesifikasi yang lebih rendah atau tidak sesuai. Sebagai contoh penggantian jenis refrigeran. Secara umum, persentasi peningkatan kinerja suatu peralatan yang telah dimodifikasi sebesar:

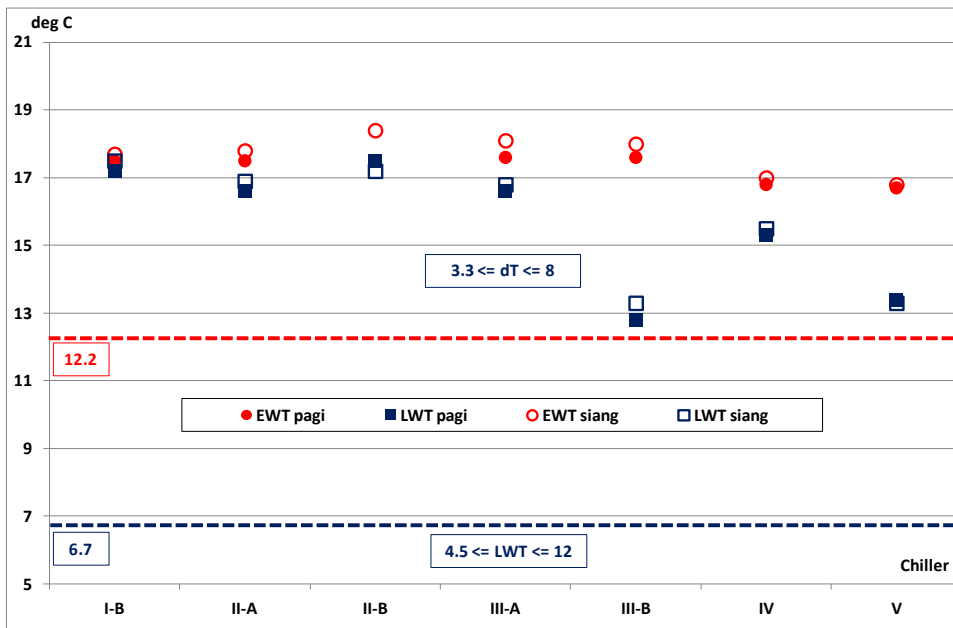
$$\% \text{ Peningkatan kinerja} = \frac{\text{kW/TR awal} - \text{kW/TR modifikasi}}{\text{kW/TR awal}} \times 100\%$$

Atau:

$$\% \text{ Peningkatan kinerja} = \frac{\text{COP modifikasi} - \text{COP awal}}{\text{COP modifikasi}} \times 100\%$$

- Pengaturan temperatur. Umumnya pengaturan temperatur yang direkomendasikan pabrikan merupakan pengaturan optimal kinerja *chiller*. Sehingga kenaikan/penurunan temperatur ini menyebabkan penurunan kinerja *chiller*. Besar penurunan kinerja ini bervariasi pada tiap *chiller* dan terkadang dapat dilihat pada buku manual *chiller*. Adapun bila tidak ada, maka dapat diketahui dari pengukuran pada dua kondisi pengaturan yang berbeda.

Pada Gambar 8-23 tampak contoh hasil pengukuran pada beberapa *chiller*. Desain *chiller* ini diatur temperatur masuk (*Entering Water Temperature* = EWT) dan keluar (*Leaving Water Temperature* = LWT) *chiller* sebesar 12,2 °C dan 6,7 °C. Berdasarkan buku manual *chiller* temperatur air keluar *chiller* harus di antara 4,5 - 12 °C. Sedangkan selisih temperatur masuk dan keluar *chiller* antara 3,3 - 8 °C. Namun dari hasil pengukuran temperatur air keluar *chiller* di antara 12,9-17,3 °C. Sedangkan selisih temperatur masuk dan keluar *chiller* rata-rata di bawah 2 °C.



Gambar 8-23 Grafik hasil pengukuran EWT dan LWT *chiller*

- Kekurangan/kelebihan refrigeran. Jumlah refrigeran mempengaruhi langsung tekanan kerja dan daya *chiller*. Sedangkan tekanan kerja berpengaruh pada kapasitas *chiller*. Jumlah refrigeran yang kurang membuat tekanan kerja dan kapasitas *chiller* menurun. Penurunan kapasitas ini umumnya lebih besar dari penurunan daya *chiller* sehingga kinerja *chiller* menurun.

Sedangkan jumlah refrigeran yang berlebih membuat tekanan kerja meningkat dan kapasitas cenderung naik pula pada tahap awal. Namun kenaikan kapasitas ini belum tentu lebih besar dari kenaikan daya *chiller* sehingga kinerja turun pula. Kenaikan tekanan kerja memberikan pula efek mempercepat kerusakan dan umur *chiller*. Informasi temperatur dan tekanan kerja beberapa jenis refrigeran yang umum digunakan dapat dilihat pada Tabel 8-5.



Tabel 8-5  
Temperatur dan tekanan kerja refrigeran.

Refrigerant Pressure Temperature Chart

Temperature		Refrigerant				
°F	°C	R-22	R-410a	R-407c	R-134a	R-404a
-60	-51.1	11.9	0.9	16.0	21.6	-
-55	-48.3	9.2	1.8	13.7	20.2	-
-50	-45.6	6.1	4.3	11.1	18.6	-
-45	-42.8	2.7	7.0	8.1	16.7	-
-40	-40.0	0.6	10.1	4.6	14.7	4.9
-35	-37.2	2.6	13.5	1.1	12.3	7.5
-30	-34.4	4.9	17.2	1.5	9.7	10.3
-25	-31.7	7.5	21.4	3.7	6.8	13.5
-20	-28.9	10.2	25.9	6.2	3.6	16.8
-18	-27.8	11.4	27.8	7.2	2.2	18.3
-16	-26.7	12.6	29.7	8.4	0.7	19.8
-14	-25.6	13.9	31.8	9.5	0.4	21.3
-12	-24.4	15.2	33.9	10.7	1.2	22.9
-10	-23.3	16.5	36.1	11.9	2.0	24.6
-8	-22.2	17.9	38.4	13.2	2.8	26.3
-6	-21.1	19.4	40.7	14.6	3.7	28.0
-4	-20.0	20.9	43.1	15.9	4.6	29.8
-2	-18.9	22.4	45.6	17.4	5.5	31.7
0	-17.8	24.0	48.2	18.9	6.5	33.7
1	-17.2	24.8	49.5	19.6	7.0	34.7
2	-16.7	25.7	50.9	20.4	7.5	35.7
3	-16.1	26.5	52.2	21.2	8.0	36.7
4	-15.6	27.4	53.6	22.0	8.6	37.7
5	-15.0	28.3	55.0	22.8	9.1	38.8
6	-14.4	29.1	56.4	23.7	9.7	39.8
7	-13.9	30.0	57.9	24.5	10.2	40.9
8	-13.3	31.0	59.3	25.4	10.8	42.0
9	-12.8	31.9	60.8	26.2	11.4	43.1
10	-12.2	32.8	62.3	27.1	12.0	44.3
11	-11.7	33.8	63.9	28.0	12.6	45.4
12	-11.1	34.8	65.4	29.0	13.2	46.6
13	-10.6	35.8	67.0	29.9	13.8	47.8
14	-10.0	36.8	68.6	30.9	14.4	49.0
15	-9.4	37.8	70.2	31.8	15.1	50.2
16	-8.9	38.8	71.9	32.8	15.7	51.5
17	-8.3	39.9	73.5	33.8	16.4	52.7
18	-7.8	40.9	75.2	34.8	17.1	54.0
19	-7.2	42.0	77.0	35.9	17.7	55.3
20	-6.7	43.1	78.7	36.9	18.4	56.6
21	-6.1	44.2	80.5	38.0	19.2	57.9
22	-5.6	45.3	82.3	39.1	19.9	59.3
23	-5.0	46.5	84.1	40.2	20.6	60.6
24	-4.4	47.6	85.9	41.3	21.4	62.0
25	-3.9	48.8	87.8	42.4	22.1	63.4
26	-3.3	50.0	89.7	43.6	22.9	64.8

Temperature		Refrigerant				
°F	°C	R-22	R-410a	R-407c	R-134a	R-404a
27	-2.8	51.2	91.6	44.7	23.7	66.2
28	-2.2	52.4	93.5	45.9	24.5	67.7
29	-1.7	53.7	95.5	47.1	25.3	69.2
30	-1.1	54.9	97.5	48.4	26.1	70.7
31	-0.6	56.2	99.5	49.6	26.9	72.1
32	0.0	57.5	101.6	50.9	27.8	73.6
33	0.6	58.8	103.6	52.1	28.6	75.3
34	1.1	60.2	105.7	53.4	29.5	76.9
35	1.7	61.5	107.9	54.8	30.4	78.5
36	2.2	62.9	110.0	56.1	31.3	80.2
37	2.8	64.3	112.2	57.5	32.2	81.7
38	3.3	65.7	114.4	58.9	33.1	83.5
39	3.9	67.1	116.7	60.3	34.1	85.2
40	4.4	68.6	118.9	61.7	35.0	86.9
41	5.0	70.0	121.2	63.1	36.0	88.6
42	5.6	71.5	123.6	64.6	37.0	90.4
43	6.1	73.0	125.9	66.1	38.0	92.2
44	6.7	74.5	128.3	67.6	39.0	94.0
45	7.2	76.1	130.7	69.1	40.0	95.8
46	7.8	77.6	133.2	70.6	41.1	97.6
47	8.3	79.2	135.6	72.2	42.2	99.5
48	8.9	80.8	138.2	73.8	43.2	101.4
49	9.4	82.4	140.7	75.4	44.3	103.3
50	10.0	84.1	143.3	77.1	45.4	105.3
55	12.8	92.6	156.6	106.0	51.2	115.3
60	15.6	101.6	170.7	116.2	57.4	126.0
65	18.3	111.3	185.7	127.0	64.0	137.4
70	21.1	121.5	201.5	138.5	71.1	149.3
75	23.9	132.2	218.2	150.6	78.6	161.9
80	26.7	143.7	235.9	163.5	86.7	175.4
85	29.4	155.7	254.6	177.0	95.2	189.6
90	32.2	168.4	274.3	191.3	104.3	204.5
95	35.0	181.9	295.0	206.4	113.9	220.2
100	37.8	196.0	316.9	222.3	124.1	236.8
105	40.6	210.8	339.9	239.0	134.9	254.2
110	43.3	226.4	364.1	256.5	146.3	272.5
115	46.1	242.8	389.6	274.9	158.4	291.9
120	48.9	260.0	416.4	294.2	171.1	312.1
125	51.7	278.1	444.5	314.5	184.5	333.4
130	54.4	297.0	474.0	335.7	198.7	355.6
135	57.2	316.7	505.0	357.8	213.5	379.1
140	60.0	337.4	537.6	380.9	229.2	403.7
145	62.8	359.1	571.7	405.1	245.6	429.6
150	65.6	381.7	607.6	430.3	262.8	456.8
155	68.3	405.4	645.2	456.6	281.0	484.8

Italics indicates vacuum (inches of mercury)

Standard font indicates pressure (pounds per inch gauge)

Sumber : <http://www.advantageengineering.com/fyi/289/advantageFYI289.php>

- Pengerakan pada pipa, diketahui dari selisih temperatur refrigeran dan air keluar (*temperature approach*). Dalam kondisi yang baik nilai ini umumnya kurang dari 1,5 °C. Perhitungan nilai temperatur approach yaitu:

$$T_{app} = T_{ev-o} - T_{ev-r}$$

Keterangan:

$T_{app}$  = temperatur approach, [°C]

$T_{ev-o}$  = temperatur air keluar evaporator (EWT), [°C]

$T_{ev-r}$  = temperatur refrigeran dalam evaporator, [°C]

Sebagai indikasi terjadinya pengerakan, dapat diketahui pula dari penurunan tekanan (*pressure drop*) air keluar dan masuk *chiller*. Dimana pada debit air yang terukur, penurunan tekanan air yang terukur lebih besar dari penurunan tekanan air pada kondisi *chiller* awal/baru yang terdapat pada buku manual *chiller* atau data komisioning. Perhitungan nilai *pressure drop* yaitu:

$$\Delta P = P_i - P_o$$

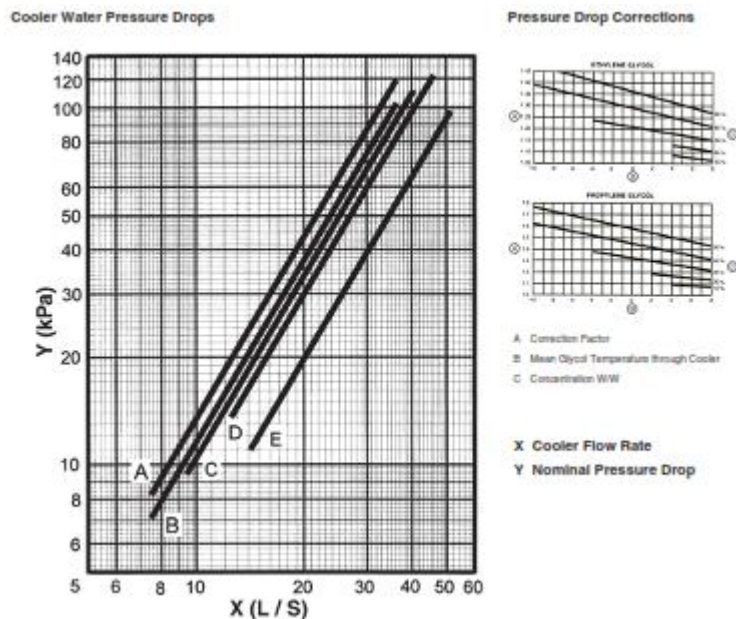
Keterangan:

$\Delta P$  = pressure drop, [kPa]

$P_i$  = tekanan air masuk *chiller*, [kPa]

$P_o$  = tekanan air keluar *chiller*, [kPa]

Pada Gambar 8-24 tampak contoh nilai penurunan tekan air (*pressure drop*) normal terhadap debit aliran air pada beberapa jenis evaporator *chiller*.

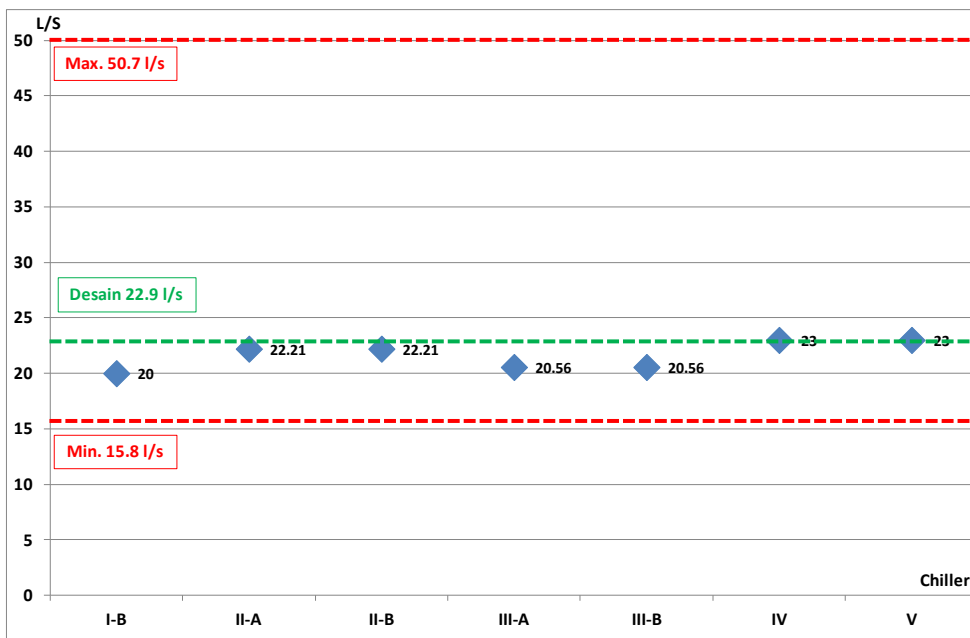


(Sumber: YCAJ York Chiller Manual)

Gambar 8-24. Grafik penurunan tekanan air *chiller*.

- Debit air kurang, diketahui dari pengukuran laju aliran air. Penyebab aliran kurang dapat berupa kerusakan pada pompa, katup terbuka sedikit atau penyeimbangan (*balancing*) aliran yang tidak tepat. Debit aliran mempengaruhi tingkat pembebanan *chiller* sehingga kapasitasnya terpengaruh. Selain itu debit aliran mempengaruhi pula kemampuan pertukaran panas di evaporator/kondenser. Oleh karena itu, debit air yang kurang mempengaruhi kinerja *chiller*.

Pada beberapa buku manual *chiller* dilengkapi informasi kinerja *chiller* berdasarkan temperatur dan debit airnya. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisa penurunan kinerja *chiller* yang disebabkan kurangnya aliran air. Contoh hasil pengukuran debit aliran air pendingin tampak pada Gambar 8-25. Pada grafik tersebut data hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai desainnya serta nilai maksimal dan minimal berdasarkan manual *chiller*.



Gambar 8-25. Data pengukuran debit air pada evaporator

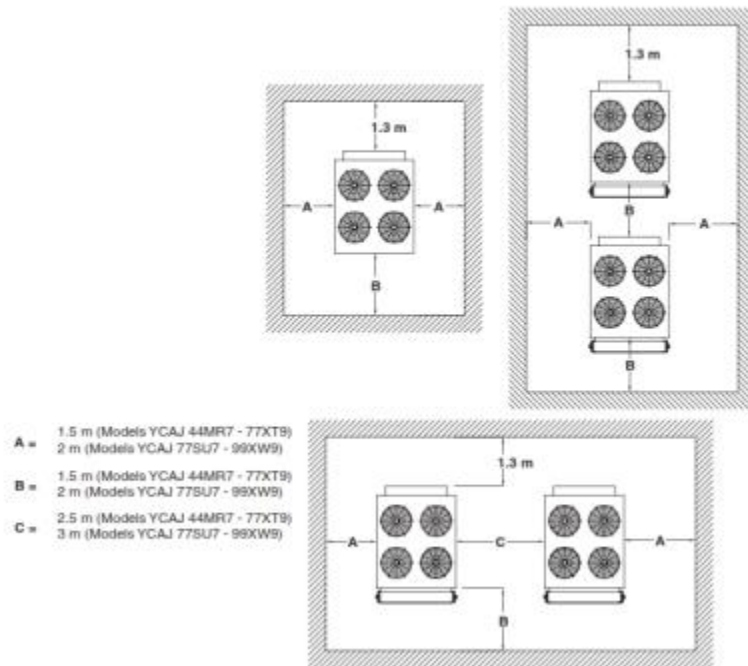
- Sirkulasi singkat (*short circulation*) udara pendingin pada kondenser *chiller* tipe *air-cooled* atau menara pendingin, diketahui dari perbandingan temperatur udara luar, udara masuk dan udara keluar.

$$\% \text{ Udara balik} = \frac{h_o - h_i}{h_o - h_a} \times 100\%$$

Keterangan:

- $h_o$  = enthalpi udara keluar,
- $h_i$  = enthalpi udara masuk
- $h_a$  = enthalpi udara lingkungan

## Clearances



Gambar 8-26. Data pengukuran debit air pada evaporator

- $$\% \text{ Kebocoran isolasi} = \frac{(T_{b-i} - T_{ev-o}) + (T_{ev-i} - T_{b-o})}{T_{ev-i} - T_{ev-o}} \times 100\%$$

$T_{b-i}$  = temperatur rata-rata air masuk beban, [°C]

$T_{b-o}$  = temperatur rata-rata air keluar beban, [°C]

Temperatur rata-rata diartikan sebagai berikut:

$$\bar{T} = \frac{T_1 \cdot \dot{V}_1 + T_2 \cdot \dot{V}_2 + \dots + T_n \cdot \dot{V}_n}{\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dots + \dot{V}_n}$$

Keterangan:

$T_n$  = temperatur air masuk unit ke-N, [°C]

$\dot{V}_n$  = debit air masuk unit ke-N, [l/s]

## 8.5. PELUANG PENGHEMATAN

Peluang penghematan berisi nilai penghematan yang dapat diperoleh serta upaya-upaya mendapatkannya. Untuk upaya bersifat operasional, memiliki nilai yang bervariasi. Untuk upaya perbaikan, nilai penghematan tertinggi berdasarkan kinerja awal *chiller* atau spesifikasi teknisnya. Adapun untuk upaya pergantian nilai penghematan tertinggi berdasarkan kinerja *chiller* yang ada di pasaran sedangkan upaya yang bersifat modifikasi, nilai penghematan sangat bervariasi.

Selain pergantian *chiller* upaya penghematan yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan energi diperoleh dari analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *chiller*.

### 8.5.1. Profil Harian

- Menghidupkan dan mematikan *chiller* seefektif mungkin sesuai kebutuhan;
- Menghidupkan pompa dan *cooling tower* lebih dahulu dari *chiller*;
- Mematikan *chiller* lebih dahulu dari pompa dan *cooling tower* serta menggunakan dingin yang masih tersisa di air agar tidak sia-sia;
- Menghindari faktor beban yang mempengaruhi kenaikan beban yang mempengaruhi kenaikan beban *chiller* seperti mematikan peralatan/beban yang tidak beroperasi.

### 8.5.2. Pembebanan

- Menjalankan *chiller* pada pembebanan maksimal yang memiliki kinerja baik, umumnya berada pada pembebanan 70-90% kapasitasnya;
- Mengatur operasional *chiller* agar merata dan memiliki masa istirahat.

### 8.5.3. Faktor-faktor Lain

- Perbaiki kerusakan *chiller*;
- Perbaiki modifikasi yang justru menurunkan kinerja *chiller* seperti mengganti refrigeran yang tidak sesuai spesifikasinya teknisnya;

- Atur temperatur sesuai spesifikasi teknisnya atau yang lebih optimal;
- Perbaiki jumlah refrigeran sesuai spesifikasi teknisnya;
- Lakukan pembersihan kerak (*scaling*) pada *coil* evaporator dan kondenser;
- Perbaiki jumlah laju aliran air sesuai spesifikasinya atau yang lebih optimal;
- Hindari sirkulasi udara yang singkat (*short circulation*) pada kondenser *air-cooled chiller* atau menara pendingin *water-cooled chiller* dengan cara menempatkan pada area terbuka, menjaga jarak antar *chiller*/menara pendingin dan jarak dengan tembok sesuai petunjuk teknis pemasangannya;
- Perbaiki isolasi pipa yang sudah tidak layak.

## 8.6. ANALISIS AWAL TEKNO-EKONOMI

Investasi merupakan salah satu bentuk penanaman modal yang dilakukan dengan suatu harapan mendapatkan keuntungan di masa depan. Atas hal itulah maka dalam melakukan investasi dilakukan evaluasi perhitungan keekonomian dengan beberapa parameter yang dihasilkan, antara lain:

- Pay-back period method (PBP)*;
- Return on Investment (ROI)*;
- Net Present Value (NPV)*; dan
- Internal Rate of Return (IRR)*.

Sebagai gambaran umum, sebelum menghasilkan parameter keekonomian tersebut di atas, ada 3 (tiga) faktor utama dalam penyusunan evaluasi perhitungan keekonomian, antara lain:

- Nilai Investasi

Nilai investasi adalah besarnya nilai penanaman modal yang dilakukan perusahaan ke dalam proyek tersebut.

- Revenue

*Revenue* adalah pendapatan yang dihasilkan dari terlaksananya investasi tersebut. *Revenue* yang dihasilkan bisa diperoleh dari adanya peningkatan hasil produksi atau dari penghematan biaya operasi.

- Cost

*Cost* adalah pengeluaran yang dihasilkan dari terlaksananya investasi tersebut. *Cost* di dalamnya juga termasuk pajak (*tax*), asuransi (*insurance*), dan beberapa lainnya.

Pada bagian ini akan dilakukan analisis kelayakan terhadap salah satu rekomendasi penghematan energi pada suatu perusahaan/industri yang telah diusulkan, yaitu optimasi pengoperasian transformator dan perbaikan faktor daya. Perhitungan analisis kelayakan dapat dilihat berikut ini.

### 8.6.1. Pay Back Period (PBP)

Masa pengendalian investasi yang ditanamkan apabila *pay back period* lebih rendah dari *lifetime period* proyek (N). Jadi  $Y < N$ , maka proyek sudah dapat dilaksanakan atau proyek jadi layak.

$$\text{Rumus simple pay back period adalah} = \frac{\text{Nilai Investasi}}{\text{Nilai Benefit}}$$

Dalam program konservasi energi, pada umumnya yang layak untuk dilaksanakan adalah yang memiliki PBP lebih kurang dari 3 tahun.

Tabel 8-6  
*Payback period*

No	Potensi Penghematan	Penghematan Energi, [kWh]	Investasi, [Juta Rp]	Peghematan Biaya, [Juta Rp]	<i>Payback Period</i>	Ket
1	Perbaikan gulungan motor kompresor	60.372	24	66,4	5 bln	Ok
2	Penambahan jumlah refrigeran	19.848	13	21,8	8 bln	Ok
3	Pembersihan <i>scaling</i> pada evaporator dan kondenser	58.500	17	64,4	4 bln	Ok
4	Penggantian <i>chiller</i> CH-4A	207.300	1.300	228,0	6 thn	Not
Total potensi		138.720	54	152,6	5	

Berdasarkan hasil perhitungan PBP seperti pada Tabel 8-6, terdapat beberapa potensi penghematan yang dilaksanakan karena pengembaliannya singkat kurang dari 2 tahun. Dari hasil tersebut di atas investasi dinilai layak untuk dilaksanakan.

### 8.6.2. Return on Investment (ROI)

*Return on Investment* (ROI) atau *Rate of return* (ROR) - dalam bahasa Indonesia disebut laba atas investasi - adalah rasio uang yang diperoleh atau hilang pada suatu investasi, relatif terhadap jumlah uang yang diinvestasikan.

Jumlah uang yang diperoleh atau hilang tersebut dapat disebut bunga atau laba/rugi. Investasi uang dapat dirujuk sebagai aset, modal, pokok, basis biaya investasi. ROI biasanya dinyatakan dalam satuan persen dan bukan dalam nilai desimal. ROI tidak memberikan indikasi berapa lamanya suatu investasi. Namun demikian, ROI sering dinyatakan dalam satuan tahunan atau disetahunkan dan sering juga dinyatakan untuk suatu tahun kalender atau fiskal. ROI juga dikenal sebagai tingkat laba (*rate of profit*) atau hasil suatu investasi pada saat ini, masa lampau, atau prediksi di masa mendatang. Atau bahasa sederhananya ROI merupakan pengembalian keuntungan atas investasi. ROI bisa juga diartikan sebagai rasio laba bersih terhadap biaya. Rumus menghitung ROI adalah sebagai berikut:

$$\text{ROI} = ( \text{Total Penjualan} - \text{Investasi} ) / \text{Investasi} \times 100\%$$

Tabel 8-7  
Rate of Investment

1	Total nilai investasi	Rp	54.000.000
2	Suku bunga	%	12%
3	Cast flow period	Tahun	2
4	Benefit	Rp	152.600.000
5	Nilai ROI	%	465,2

Pada Tabel 8-7 ditunjukkan bahwa investasi layak dilaksanakan karena ROR di atas bunga yang ditetapkan.

### 8.6.3. Net Present Value (NPV)

NPV merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang diskontokan pada saat ini.

Untuk menghitung NPV diperlukan data perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/*benefit* dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan. *Net Present Value* (NPV) atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara PV kas bersih dengan PV Investasi selama umur investasi. Dapat juga dikatakan bahwa *Net Present Value* (NPV) merupakan *net benefit* yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* (SOCC) sebagai diskon faktor.

Rumus yang digunakan untuk menghitung NPV adalah dengan mendiskonkan masing-masing periode arus masuk dan arus keluar dengan rumus:

$$NPV = \sum_{t=1}^n R_t / (1+r)^t - I$$

Bila  $R_t$  adalah uang yang dapat diperoleh setiap tahun sebagai pengembalian pelaksanaan konservasi energi, maka *total present value* selama tahun ke “n” untuk tahun berikutnya dapat dihitung dalam bentuk persamaan seperti berikut ini:

$$Total\ present\ value\ untuk\ tahun\ ke-n = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

Dengan demikian NVP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$NPV = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right) - I$$



Keterangan:

NPV = *Net Present Value*

$R_t$  = *Annual cash flow* pada tahun ke  $t$

$R$  = *Annual cash flow (constant)*

$r$  = *Interest rate or capital cost (suku bunga)*

$I$  = *Investment amount* atau nilai investasi awal

$n$  = Waktu pakai proyek

$$\text{Annuity present value factor} : \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

Setelah dihitung NPV, maka keputusan dapat diambil dengan berpedoman seperti tabel berikut.

Tabel 8-8  
*Net present value*

Bila	Berarti	Maka
NPV > 0	investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan	proyek bisa dijalankan
NPV < 0	investasi yang dilakukan akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan	proyek ditolak
NPV = 0	investasi yang dilakukan tidak mengakibatkan perusahaan untung ataupun merugi	Kalau proyek dilaksanakan atau tidak dilaksanakan tidak berpengaruh pada keuangan perusahaan. Keputusan harus ditetapkan dengan menggunakan kriteria lain misalnya dampak investasi terhadap <i>positioning</i> perusahaan.

1	Total nilai investasi	Rp	54.000.000
2	Suku bunga	%	12%
3	<i>Cast flow period</i>	Tahun	2
4	Diskon faktor (tabel di bawah)		1,6900
5	Benefit	Rp	152.600.000
6	Nilai NPV		203.894.000

Berdasarkan Tabel 8-8 diketahui bahwa hasil NPV > 1, hal ini berarti investasi layak di laksanakan.

Tabel 8-9  
Present value factor of annuity

Number of Years	Interest Rate per Year														
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
1	.990	.980	.971	.962	.952	.943	.935	.926	.917	.909	.901	.893	.885	.877	.870
2	1.970	1.942	1.913	1.886	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736	1.713	1.690	1.668	1.647	1.626
3	2.941	2.884	2.829	2.775	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487	2.444	2.402	2.361	2.322	2.283
4	3.902	3.808	3.717	3.630	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170	3.102	3.037	2.974	2.914	2.855
5	4.853	4.713	4.580	4.452	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791	3.696	3.605	3.517	3.433	3.352
6	5.795	5.601	5.417	5.242	5.076	4.917	4.767	4.623	4.486	4.355	4.231	4.111	3.998	3.889	3.784
7	6.728	6.472	6.230	6.002	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868	4.712	4.564	4.423	4.288	4.160
8	7.652	7.325	7.020	6.733	6.463	6.210	5.971	5.747	5.535	5.335	5.146	4.968	4.799	4.639	4.487
9	8.566	8.162	7.786	7.435	7.108	6.802	6.515	6.247	5.995	5.759	5.537	5.328	5.132	4.946	4.772
10	9.471	8.983	8.530	8.111	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145	5.889	5.650	5.426	5.216	5.019
11	10.37	9.787	9.253	8.760	8.306	7.887	7.499	7.139	6.805	6.495	6.207	5.938	5.687	5.453	5.234
12	11.26	10.58	9.954	9.385	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814	6.492	6.194	5.918	5.660	5.421
13	12.13	11.35	10.63	9.986	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103	6.750	6.424	6.122	5.842	5.583
14	13.00	12.11	11.30	10.56	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367	6.982	6.628	6.302	6.002	5.724
15	13.87	12.85	11.94	11.12	10.38	9.712	9.108	8.559	8.061	7.606	7.191	6.811	6.462	6.142	5.847
16	14.72	13.58	12.56	11.65	10.84	10.11	9.447	8.851	8.313	7.824	7.379	6.974	6.604	6.265	5.954
17	15.56	14.29	13.17	12.17	11.27	10.48	9.763	9.122	8.544	8.022	7.549	7.120	6.729	6.373	6.047
18	16.40	14.99	13.75	12.66	11.69	10.83	10.06	9.372	8.756	8.201	7.702	7.250	6.840	6.467	6.128
19	17.23	15.68	14.32	13.13	12.09	11.16	10.34	9.604	8.950	8.365	7.839	7.366	6.938	6.550	6.198
20	18.05	16.35	14.88	13.59	12.46	11.47	10.59	9.818	9.129	8.514	7.963	7.469	7.025	6.623	6.259

Number of Years	Interest Rate per Year														
	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%
1	.862	.855	.847	.840	.833	.826	.820	.813	.806	.800	.794	.787	.781	.775	.769
2	1.605	1.585	1.566	1.547	1.528	1.509	1.492	1.474	1.457	1.440	1.424	1.407	1.392	1.376	1.361
3	2.246	2.210	2.174	2.140	2.106	2.074	2.042	2.011	1.981	1.952	1.923	1.896	1.868	1.842	1.816
4	2.798	2.743	2.690	2.639	2.589	2.540	2.494	2.448	2.404	2.362	2.320	2.280	2.241	2.203	2.166
5	3.274	3.199	3.127	3.058	2.991	2.926	2.864	2.803	2.745	2.689	2.635	2.583	2.532	2.483	2.436
6	3.685	3.589	3.498	3.410	3.326	3.245	3.167	3.092	3.020	2.951	2.885	2.821	2.759	2.700	2.643
7	4.039	3.922	3.812	3.706	3.605	3.508	3.416	3.327	3.242	3.161	3.083	3.009	2.937	2.868	2.802
8	4.344	4.207	4.078	3.954	3.837	3.726	3.619	3.518	3.421	3.329	3.241	3.156	3.076	2.999	2.925
9	4.607	4.451	4.303	4.163	4.031	3.905	3.786	3.673	3.566	3.463	3.366	3.273	3.184	3.100	3.019
10	4.833	4.659	4.494	4.339	4.192	4.054	3.923	3.799	3.682	3.571	3.465	3.364	3.269	3.178	3.092
11	5.029	4.836	4.656	4.486	4.327	4.177	4.035	3.902	3.776	3.656	3.543	3.437	3.335	3.239	3.147
12	5.197	4.988	4.793	4.611	4.439	4.278	4.127	3.985	3.851	3.725	3.606	3.493	3.387	3.286	3.190
13	5.342	5.118	4.910	4.715	4.533	4.362	4.203	4.053	3.912	3.780	3.656	3.538	3.427	3.322	3.223
14	5.468	5.229	5.008	4.802	4.611	4.432	4.265	4.108	3.962	3.824	3.695	3.573	3.459	3.351	3.249
15	5.575	5.324	5.092	4.876	4.675	4.489	4.315	4.153	4.001	3.859	3.726	3.601	3.483	3.373	3.268
16	5.668	5.405	5.162	4.938	4.730	4.536	4.357	4.189	4.033	3.887	3.751	3.623	3.503	3.390	3.283
17	5.749	5.475	5.222	4.990	4.775	4.576	4.391	4.219	4.059	3.910	3.771	3.640	3.518	3.403	3.295
18	5.818	5.534	5.273	5.033	4.812	4.608	4.419	4.243	4.080	3.928	3.786	3.654	3.529	3.413	3.304
19	5.877	5.584	5.316	5.070	4.843	4.635	4.442	4.263	4.097	3.942	3.799	3.664	3.539	3.421	3.311
20	5.929	5.628	5.353	5.101	4.870	4.657	4.460	4.279	4.110	3.954	3.808	3.673	3.546	3.427	3.316

#### 8.6.4. Internal Rate of Return (IRR)

IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana, dan lain-lain).

Metode ini untuk membuat peringkat usulan investasi dengan menggunakan tingkat pengembalian atas investasi yang dihitung dengan mencari tingkat diskonto yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas masuk proyek yang diharapkan terhadap nilai sekarang biaya proyek atau sama dengan tingkat diskonto yang

membuat NPV sama dengan nol.

IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana, dan lain-lain). IRR digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak, untuk itu biasanya digunakan acuan bahwa investasi yang dilakukan harus lebih tinggi dari *Minimum acceptable rate of return* atau *Minimum Atractive Rate of Return* (MARR). MARR adalah laju pengembalian minimum dari suatu investasi yang berani dilakukan oleh seorang investor.

Bila IRR sama dengan *capital cost*, maka jumlah investasi (*investment amount*):

$$I = \sum_{t=1}^n R_t / (1+r)^t$$

Apabila R rupiah dapat diperoleh setiap tahun sebagai *cash flow* (keuntungan), maka IRR tahun ke “n” berikutnya dapat diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$I = R \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right)$$

- Keterangan: Rt = *Cash flow in “t” year*  
R = *Annual cash flow (constant)*  
r = *Interest rate or capital conr* (suku bunga)  
I = *Investment amount* atau nilai investasi awal  
n = Waktu pakai proyek  
t = *period*

Apabila  $r > \text{cost of capital (dividend) or interest rate}$ , maka lakukan investasi

Apabila  $r : < \text{cost of capital (dividend) or interest rate}$ , maka Jangan lakukan investasi

Tabel 8-10  
*Internal Rate on Return*

1	Total nilai investasi	Rp	54.000.000
2	Suku bunga (%)	%	12%
3	<i>Cast flow period</i>	Tahun	2
4	<i>Benefit</i>	Rp	152.600.000
5	IRR : $152.600.000 - 54.000.000 \cdot \text{factor}(2y,r) = 0$		$\text{factor}(2y,r) = 2,826$
6	Dengan tabel annuity factor, untuk 2y, maka : $r =$		260%

Nilai r di atas diperoleh berdasarkan hasil perhitungan yaitu 260%. Ini berarti bahwa nilai r jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai suku bunga 12%. Ini menunjukkan bahwa kegiatan investasi konservasi energi ini layak dilaksanakan.

## 8.7. PENYUSUNAN LAPORAN

Penyusunan laporan audit energi pada sistem *chiller* bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem *chiller* merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem *chiller* yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem *chillernya* saja yang diaudit.

### 8.7.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem *chiller* merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 8-27. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 8-28.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 8-27) adalah urutan bab pada sistem pompa. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem *chiller* berada pada urutan ke-8, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 8 atau VIII. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 8 atau Bab VIII Sistem *Chiller*.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan meliputi:

1. Deskripsi Sistem *Chiller*

Di sini diuraikan hal-hal mengenai sistem *chiller* di pabrik tersebut, misalnya: jenis *chiller*, jumlah dan kapasitas, aliran pemipaan, kondisi, status konsumsi energi listrik pada saat ini, dan lainnya.

2. Lingkup Audit Energi pada Sistem *Chiller*

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

3. Peralatan Audit Energi

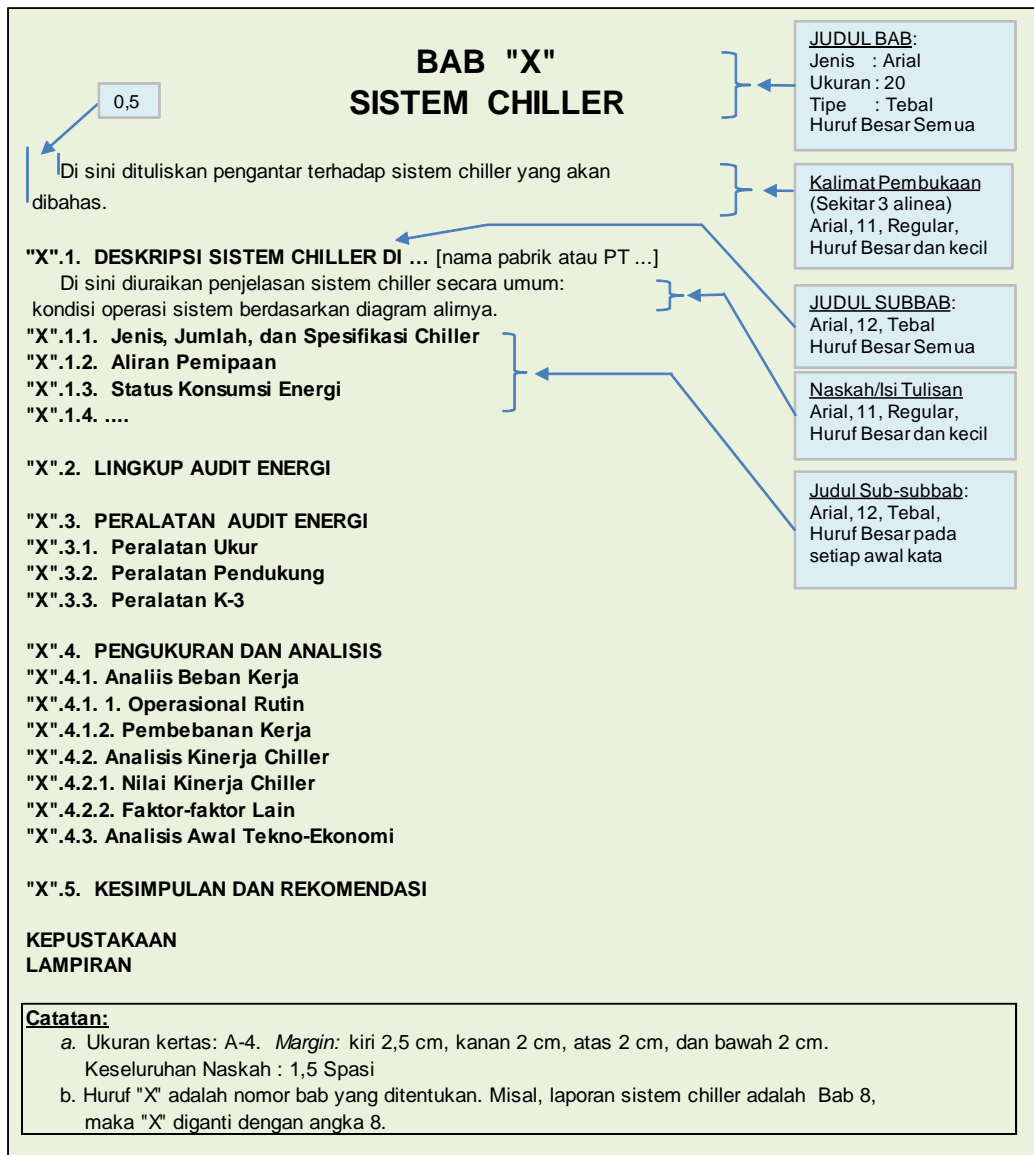
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.

4. Pengukuran dan Analisis

Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam analisis adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya.

5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.

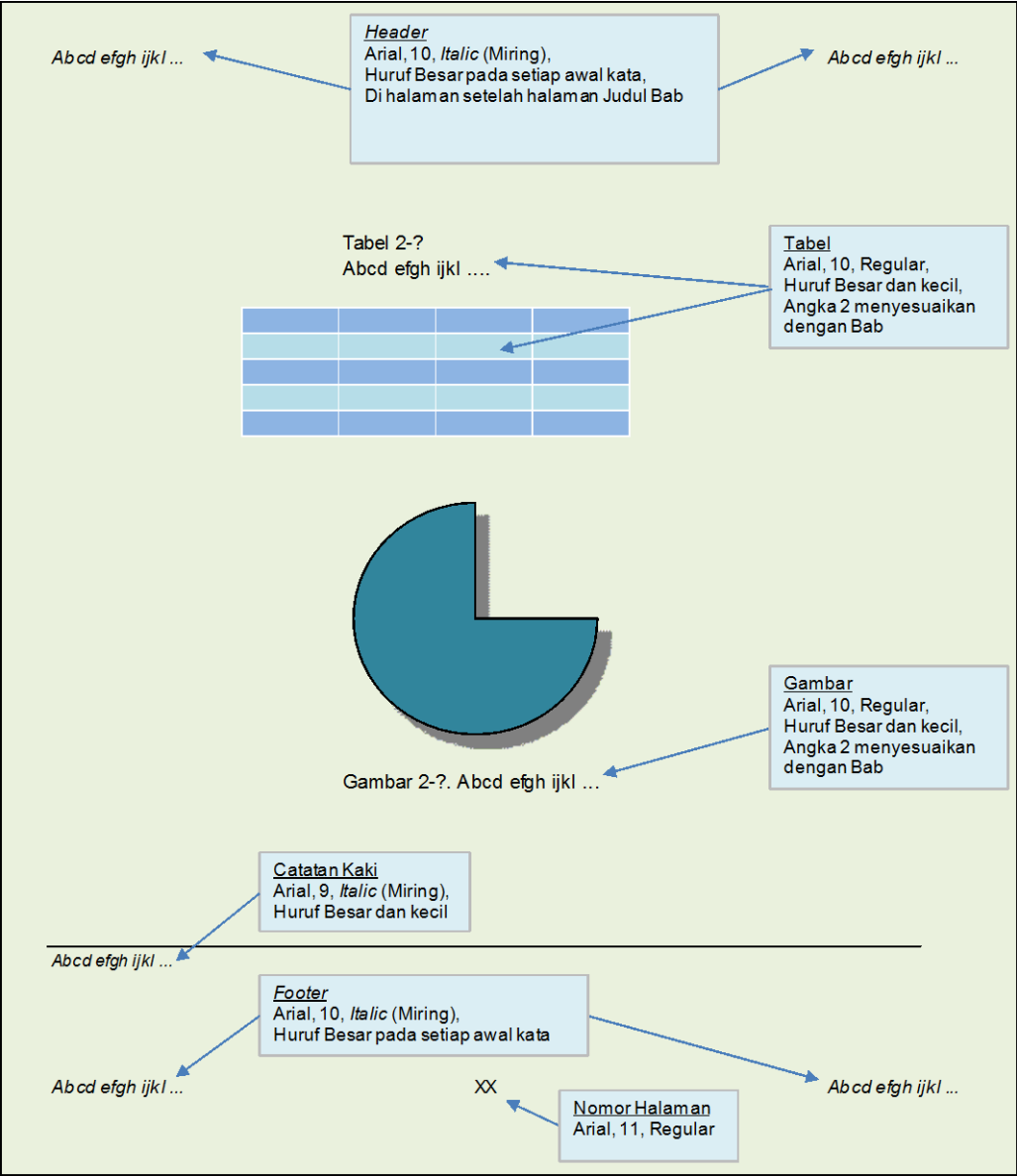


Gambar 8-27. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem *chiller* yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.

### 8.7.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem *Chiller*

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem *chiller*-nya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan tersendiri, yang hanya mengulas ikhwal sistem *chiller*, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, analisis, hingga

kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 8-29.



Gambar 8-28. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>		
1.1 Identitas Perusahaan	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.2 Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3 .....		
<b>BAB 2 DESKRIPSI SISTEM CHILLER</b>		
2.1 Jenis, Jumlah, dan Spesifikasi		
2.2 Aliran Pemipaan		
2.3 Status Konsumsi Energi		
2.4 Status Konsumsi Energi		
<b>BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI</b>		
<b>BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI</b>		
4.1 Peralatan Ukur		
4.2 Peralatan Pendukung		
4.3 Peralatan K-3		
<b>BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>		
5.1 Analis Beban Kerja		
5.1.1. Operasional Rutin		
5.1.2. Pembebanan Kerja		
5.2 Analisis Kinerja Chiller		
5.2.1. Nilai Kinerja Chiller		
5.2.2. Faktor-faktor Lain		
5.3 Analisis Awal Tekno Ekonomi		
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

**Catatan:**

- a. Ukuran kertas: A-4. *Margin:* kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm.  
Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi
- b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.
- c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.

Gambar 8-29. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem *chiller* di industri.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

a. Kata Pengantar

Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.

- b. Ringkasan Eksekutif  
Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.
- c. Pendahuluan  
Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.
- d. Deskripsi Sistem *Chiller*  
Uraianya dapat melihat butir a pada Subbab 8.6.1.
- e. Lingkup Audit Energi pada Sistem *Chiller*  
Uraianya dapat melihat butir b pada Subbab 8.6.1.
- f. Peralatan Audit Energi  
Uraianya dapat melihat butir c pada Subbab 8.6.1.
- g. Pengukuran dan Analisis  
Uraianya dapat melihat butir d pada Subbab 8.6.1.
- h. Kesimpulan dan Rekomendasi  
Uraianya dapat melihat butir e pada Subbab 8.6.1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 09 tahun 2014 Tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) Perusahaan Listrik Negara. [http://www.pln.co.id/dataweb/TTL2014/Permen\\_ESDM\\_TTL\\_2014.pdf](http://www.pln.co.id/dataweb/TTL2014/Permen_ESDM_TTL_2014.pdf)
- [2] SNI 6390:2011 Konservasi Energi Sistem Tata Udara Pada Bangunan Gedung.
- [3] SNI 6196:2011 Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung.
- [4] Thumann, Albert; Willian J Y. *Handbook of Energy Audit*. 7th Edition. Published by The Fairmont Press, Inc. 700 Indian Trail, Lilburn, GA 30047, tel: 770-925-9388; fax: 770-381-9865, <http://www.fairmontpress.com>





## BAB 9

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM POMPA

Hari Yurismono



Aliran fluida yang berlangsung di setiap industri/pabrik tidak terlepas dari peranan pompa. Terlebih lagi apabila fluida tersebut akan dialirkan ke tempat yang lebih tinggi. Semakin besar massa fluida yang akan dialirkan, maka akan semakin besar pula tenaga dorong pompa yang dibutuhkan.

Pompa yang digunakan di industri beragam, baik dari sisi jenis, merek, maupun kapasitasnya. Hal ini bergantung kepada kebutuhan di industri tersebut dalam memindahkan fluidanya.

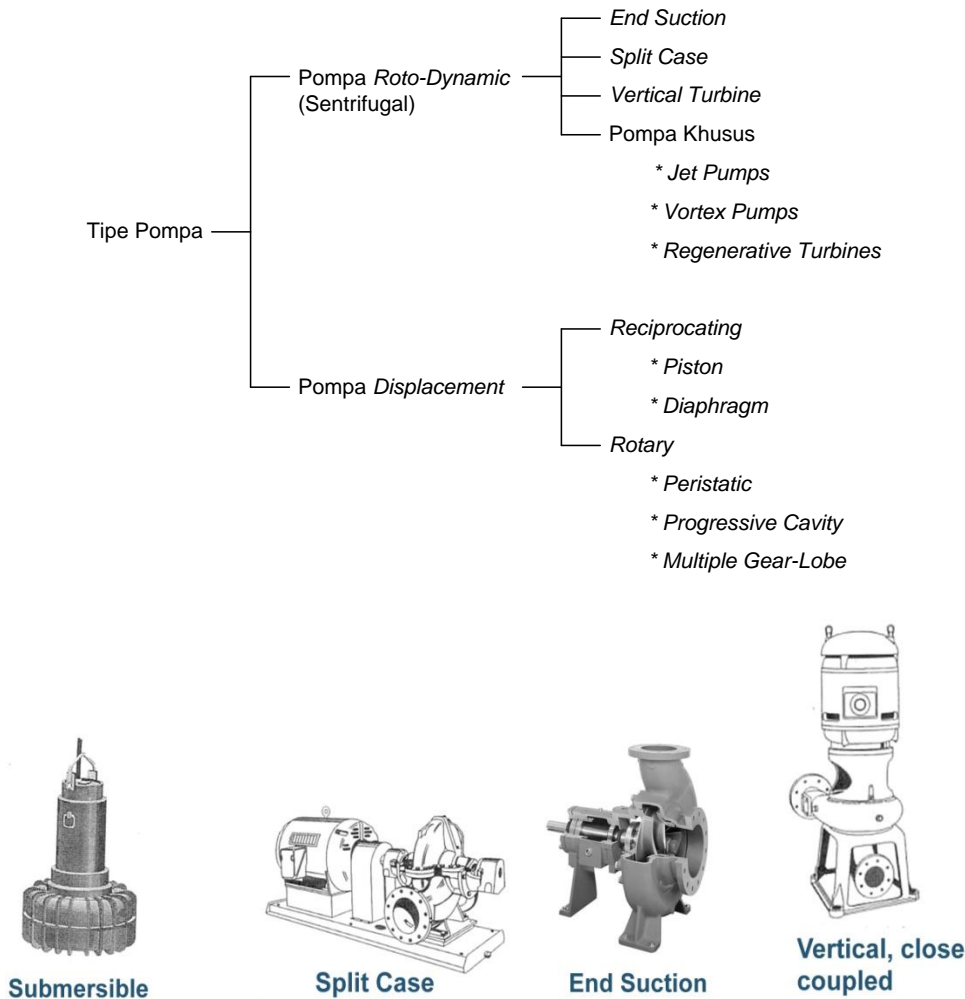
Di dalam bab ini akan disajikan uraian tentang cara melakukan kajian kinerja suatu sistem pompa melalui cara yang disebut dengan audit energi. Pengertian audit energi di sini adalah “pemotretan” terhadap sistem pompa yang sedang dioperasikan. Terhadap sistem pompa - yang sedang dioperasikan - dilakukan kegiatan pengambilan data/parameter operasionalnya (misal: laju alir, tekanan, temperatur, konsumsi energi, dan beberapa lainnya) melalui pemasangan alat-alat ukur atau alat ukur yang sudah terpasang pada unit tersebut. Selanjutnya dilakukan analisis/perhitungan untuk mendapatkan status kinerja atau efisiensinya.

### 9.1. GAMBARAN UMUM POMPA

Pompa dapat dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu *roto-dynamic* atau *centrifugal* dan *positive displacement*. Pompa *roto-dynamic* (*centrifugal*) mengubah energi ke fluida dengan menggunakan putaran *impeler*. Fluida masuk ke dalam pompa melalui titik isap ke dalam pusat (mata) *impeler*, kemudian fluida ini dipercepat ke

kecepatan tinggi melewati *difuser* untuk mengkonversi *velocity head* ke dalam *pressure head* sebelum keluar ke *discharge* pompa.

Pompa *positive displacement* (PD) adalah mesin pompa dengan laju alir tetap (*constant flow machines*). Dua jenis pompa PD meliputi pompa *reciprocating* dan pompa *rotary*. Laju alir pompa jenis PD ini secara umum proporsional dengan kecepatan putaran pompa, membuatnya ideal untuk pengaturan aliran dengan *variable speed*. Pompa ini digunakan untuk tekanan tinggi dan untuk fluida yang kental (*viscous fluids*). Secara skematis, jenis-jenis pompa dapat dilihat pada Gambar 9-1.



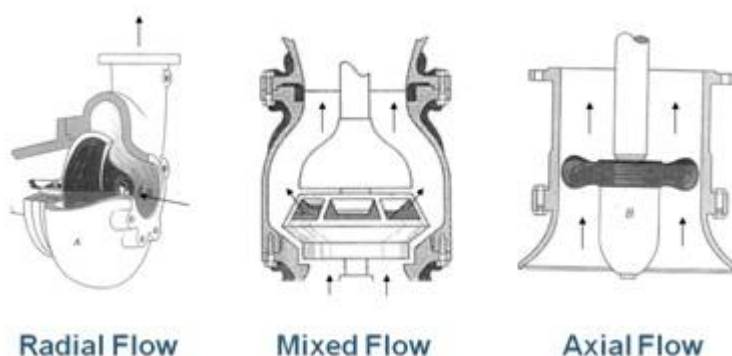
Gambar 9-1. Jenis-jenis pompa.

Di dalam buku ini hanya akan dibahas jenis pompa *roto-dynamic* atau sentrifugal saja. Pembahasan pompa sentrifugal ini difokuskan pada konservasi energi melalui optimasi sistem pompa.

### 9.1.1. Pompa Sentrifugal

Terdapat tiga kategori aliran untuk pompa sentrifugal, yaitu radial, campuran, dan aksial. Pada pompa dengan aliran radial, *pump discharge*-nya mempunyai sudut  $90^\circ$  terhadap *suction*. Pompa dengan aliran campuran (*mixed flow*) mempunyai *discharge* pada sudut di bawah  $180^\circ$  dari *suction* tetapi lebih besar dari pada  $90^\circ$ . Sedangkan pada pompa dengan aliran aksial, air ditekan ke luar pada *discharge* yang bertolak belakang dengan *suction*.

Yang paling umum di pasaran adalah pompa-pompa dengan tipe aliran radial dan campuran. Pompa-pompa ini sering menggunakan *throttling valves* untuk pengaturan laju alir dan memberikan kesempatan yang bagus untuk penghematan energi. Secara skematis, ketiga jenis aliran pada pompa dapat dilihat pada Gambar 9-2.



Gambar 9-2. Jenis-jenis aliran pada pompa sentrifugal.

Komponen penting pada pompa sentrifugal adalah *impeller*. Terdapat tiga jenis *impeller* pompa sentrifugal, yaitu *semi-open*, *open*, dan *closed*. *Impeller* jenis *semi-open* mempunyai satu sisi *impeller* yang tertutup. Jenis ini mempunyai kapabilitas kandungan padatan dalam fluida yang lebih rendah dibandingkan dengan *open impeller*. Akan tetapi, jenis ini sangat efisien untuk memompa zat-zat kimia (*chemicals*), *slurry*, dan penggunaan industri lainnya.

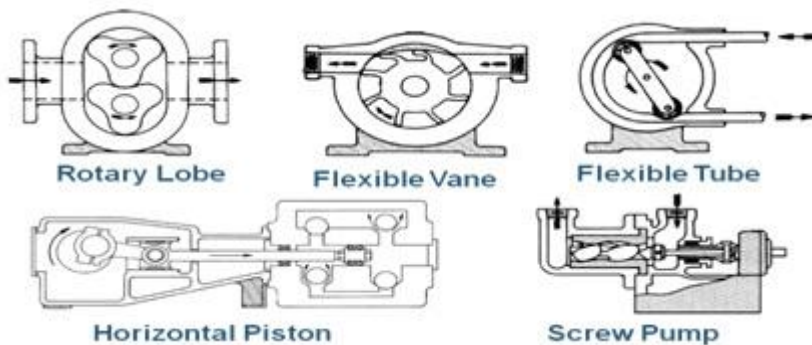
Desain *impeller* terbuka (*open impeller*) tidak mempunyai pembungkus dan utamanya digunakan untuk memompa fluida yang mengandung padatan tinggi. Pompa dengan *impeller* terbuka ini termasuk pompa dengan efisiensi rendah yang akan memompa laju alir yang besar pada tekanan rendah.

Untuk jenis *impeller* tertutup (*closed impeller*) adalah sangat efisien dan mempunyai dua sisi pembungkus. *Impeller* jenis ini biasanya digunakan untuk memompa fluida yang bersih. Ilustrasi ketiga jenis *impeller* tersebut dapat dilihat pada Gambar 9-3.



Gambar 9-3. Jenis-jenis *impeller* pompa sentrifugal.

### 9.1.2. Pompa *Positive Displacement*



Gambar 9-4. Jenis-jenis pompa *positive displacement*.

## 9.2. SISTEM POMPA

Yang dimaksud dengan sistem Pompa di dalam bab ini adalah suatu rangkaian proses secara lengkap dari usaha mengalirkan fluida dengan menggunakan pompa sentrifugal. Komponen dalam sistem pompa ini dapat terdiri atas pompa, pemipaan, katup-katup, serta penampung atau *reservoir* fluida.

Sistem pompa dapat dibedakan dalam dua jenis, yaitu sistem pompa terbuka dan tertutup. Pada sistem pompa terbuka, sistem akan memindahkan fluida dari satu *reservoir* ke *reservoir* lainnya melalui sistem pemipaan. Beban pompa didominasi pada *head* dari perbedaan tinggi kedua *reservoir* tersebut.

Sedangkan pada sistem tertutup, pompa akan mengalirkan fluida pada satu rangkaian pemipaan tertutup secara terus-menerus dan berputar untuk menghasilkan sirkulasi fluida. Beban pompa pada sistem ini didominasi oleh gesekan fluida dalam pipa maupun katup yang dilaluinya.

Optimasi sistem pompa adalah suatu pendekatan sistematis untuk mengevaluasi penggunaan energi yang tinggi dari pompa untuk mengidentifikasi potensi penghematan energinya. Langkah awal dari usaha optimasi sistem pompa ini adalah

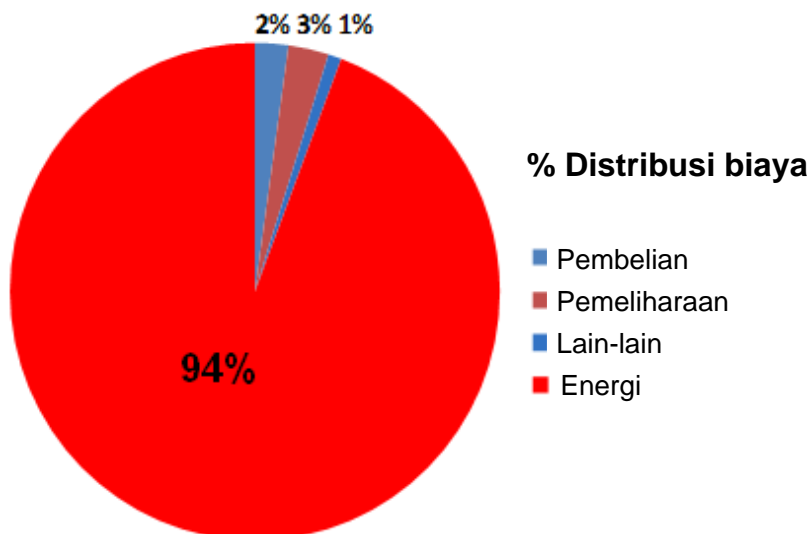
*pre-screening* yang akan dilanjutkan dengan *assessment* operasional sistem pompa di lapangan.

Setelah dilakukan *prescreening* pada sistem pompa, potensi penghematan energi dari sistem pompa yang terpilih ditentukan dengan melakukan pengukuran tekanan, laju alir, dan energi listrik yang dikonsumsi pompa di lapangan. Data pengukuran yang diperoleh akan dikombinasikan dengan data operasional sistem pompa untuk menentukan *baseline* penggunaan energi dan kebutuhan sistem pompa yang sebenarnya.

Untuk memulai suatu pekerjaan audit energi pada pompa perlu mengikuti pola sebagai berikut:

1. Memerlukan justifikasi finansial
2. Mempertimbangkan *Life Cycle Costs (LCC)* yang meliputi biaya-biaya:
  - pembelian pompa
  - installasi & *commissioning*
  - Energi
  - operasional lainnya
  - perawatan
  - saat terjadi kerusakan pompa
  - *Decommissioning*
  - lingkungan

Gambaran umum LCC untuk pompa seperti dalam diagram pada Gambar 9-5.



Gambar 9-5. Tipikal *Life cycle cost* - 200 kW pompa dan motor.

Dari Gambar 9-5 terlihat bahwa biaya terbesar pada sistem pompa adalah biaya energi untuk mengoperasikan pompa tersebut. Pada contoh ini bisa mencapai 94% dari biaya total yang dikeluarkan selama umur desain pompa.

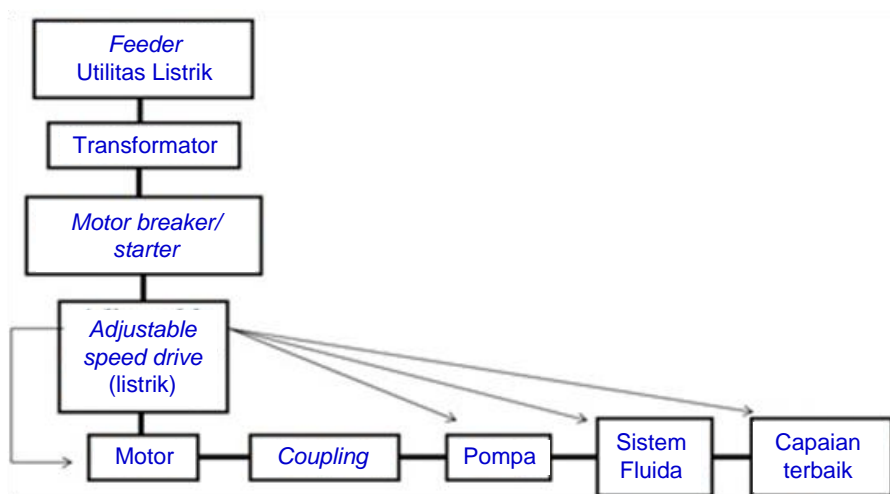
Dengan demikian maka usaha konservasi energi untuk sistem pompa merupakan langkah serius yang harus dilakukan untuk mendapatkan sistem yang optimal.

Langkah terbaik yang dianjurkan dalam melakukan program penghematan energi pada sistem pompa adalah melakukan tiga langkah pendekatan saat *prescreening* dan *assessment* yang meliputi:

1. *Initial pre-screening* yang didasarkan pada ukuran, waktu operasi, dan jenis pompa;
2. *Secondary pre-screening* untuk memfokuskan kepada sistem di mana potensi penghematan energi secara signifikan terlihat;
3. Melakukan evaluasi terhadap potensi penghematan dan kuantifikasi potensi penghematan energi yang akan didapatkan.

### 9.2.1. Pendekatan Sistem Pompa

Untuk memberikan gambaran pada sistem pompa secara lengkap ke dalam diagram maka ditampilkan sistem pompa yang menggunakan *adjustable speed drive* yang akan mempunyai pengaruh pada beberapa elemennya dalam upaya melakukan usaha penghematan energi, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9-6.



Sumber: PSO training, UNIDO 2012

Gambar 9-6. Pendekatan sistem pompa.

Dari diagram pada Gambar 9-6 ini, pada setiap *interface* akan terjadi inefisiensi. Hasil akhir (*ultimate goal*) harus dimaksudkan untuk memaksimalkan *overall cost*

*effectiveness* dari sistem pemompaan atau dinyatakan dalam berapa banyak aliran fluida yang dihasilkan per unit *input* energi nya.

Secara garis besar pembahasan Optimasi Sistem Pompa ini dapat disampaikan sebagai usaha meningkatkan efisiensi di masing-masing elemen yang tertera dalam blok diagram di atas sebagai berikut:

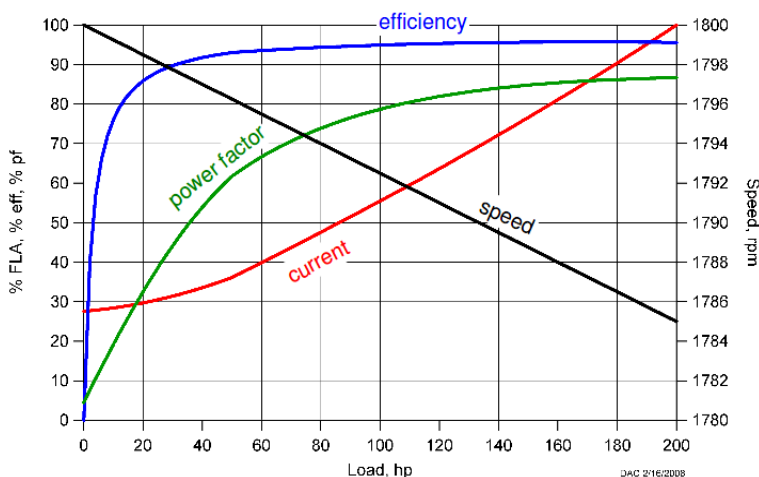
- *Utility system* - rugi-rugi jaringan (sangat rendah)
- *Transformer* - umumnya efisien
- *Breaker/starter* - rugi-rugi bisa diabaikan
- *Adjustable speed drive* - akan dibahas
- *Motor* - akan dibahas
- *Coupling* - rugi-rugi harusnya sangat kecil
- *Pump* - akan dibahas
- *System* - akan dibahas
- *Ultimate goal* - akan dibahas

### 9.2.1.1. Adjustable Speed Drive untuk Motor Pompa

Adalah sangat penting untuk disadari bahwa komponen-komponen yang berbeda dalam sistem pompa mempunyai saling ketergantungan. Sebuah *Variable Frequency Drive (VFD)* akan mempengaruhi komponen-komponen lain dalam sistem. Di antaranya rugi-rugi pada sistem fluida tergantung pada kecepatan aliran. Kurva pompa berubah dengan berubahnya kecepatan motor penggerak, demikian juga terjadi pada kurva motornya sendiri.

### 9.2.1.2. Motor Pompa

Rugi-rugi motor umumnya kecil pada sistem pompa, berkisar pada 4-5%. Dengan penggunaan VFD akan menaikkan rugi-rugi motor ini.



Gambar 9-7. Typical High Efficiency Motor Curves 150 kW, 4-Pole.  
(Sumber: PSO training, UNIDO 2012)

### 9.2.1.3. Rugi-rugi Pompa

Efisiensi Pompa bisa bervariasi dalam area yang lebar dari 0 sampai sekitar 85%. Efisiensi ini sangat tergantung pada posisi mana pompa tersebut dioperasikan apabila di-plot-kan pada *curve* nya.

### 9.2.2. Sistem Fluida

Sangatlah penting untuk memahami bahwa tujuan akhir optimasi sistem pompa adalah mengoptimalkan sistem fluida (*fluid system*)-nya. Dalam melakukan optimasi sistem pompa sangatlah penting untuk memahami apa yang sebenarnya dibutuhkan. Untuk itu perlu dipahami mengapa sistem pompa tersebut ada dan secara jelas didefinisikan kriteria kebutuhan tersebut. Dalam hal ini ada hal-hal yang bagus kalau dilengkapi dan ada hal-hal yang secara mutlak harus ada.

Pada akhirnya perlu dibuat daftar tentang komponen-komponen yang diperlukan dan yang bisa dinegosiasikan. Ini untuk membuat prioritas dalam melakukan optimasi sistem pompa. Tidak ketinggalan perlu disertakan tambahan biaya untuk setiap perubahan pada sistem tersebut.

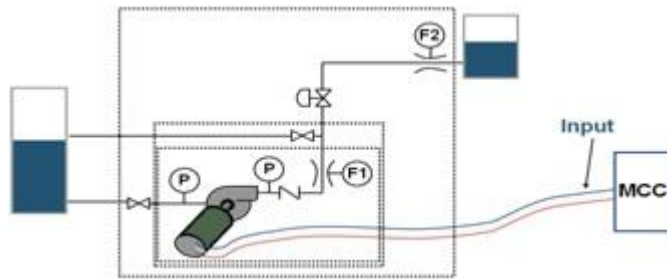
Gambar 9-8 memperlihatkan daya fluida pada sistem pompa.



Gambar 9-8. Daya Fluida Sistem Pompa.  
(Sumber: PSO training, UNIDO 2012)

Untuk lebih jelasnya, mari kita lihat sistem pompa pada Gambar 9-9.





$$\text{Output} = \text{Flow rate} * \text{head} * \text{constant}$$

Gambar 9-9. Menentukan *Fluid System*

Ketika melihat sebuah sistem, sangatlah penting untuk menentukan secara jelas batasan sistem tersebut. Gambar 9-9 menunjukkan sebuah sistem sederhana yang mempunyai fungsi untuk memompakan fluida dari satu *reservoir* ke *reservoir* lainnya yangn terletak pada elevasi yang lebih tinggi.

Jika batasan sistem diambil pada kotak yang paling dalam maka dapat dipastikan bahwa sistem ini sangat efisien dengan mengukur daya input, laju alir (F1), dan *head* ( $\Delta P$ ).

Jika batasan sekarang diambil kotak yang tengah maka kejadiannya menjadi lebih jelek. Dapat dilihat bahwa sebagian aliran diputar-balik ke *reservoir* pertama melalui pipa *by-pass*. Data laju alir dari *flow meter* F1 menjadi tidak dipakai dan sebagian dari fluida yang dipompa terbuang ke tanki pertama lagi.

Jika batasan sistem adalah kotak terluar maka akan didapatkan gambaran yang benar dari kebutuhan sistem pompa ini. Dengan pengukuran laju alir pada F2 akan diketahui seberapa banyak fluida yang dipompakan yang secara benar sampai ke tanki kedua. Beda tekanan pada *throttling valve* juga merupakan energi fluida yang terbuang. Kebutuhan sistem yang benar akan ditentukan dengan melihat tekanan dan laju alir yang mana diperlukan untuk mendapatkan laju alir yang sama dengan menutup *by-pass* dan juga melepaskan *throttling valve*.

Dari uraian ini perlu ditekankan bahwa penentuan *boundary* dari sistem pompa adalah tahapan yang sangat menentukan dalam usaha optimasi sistem pompa.

Pertanyaan yang mungkin muncul dari contoh di atas adalah mengapa sistem pompa tidak optimal? Untuk menjawab pertanyaan tersebut ada beberapa faktor yang harus dicermati, seperti:

- Data dan asumsi-asumsi yang diambil pada sistem pompa tidak benar;
- Penambahan faktor keamanan;
- Penambahan komponen sistem yang baru;
- Beban operasional pompa yang meningkat;
- Perubahan *suction head*;
- Kondisi proses yang dinamis;
- Kerusakan pada sistem dan pompa;
- Adanya pengaturan laju alir.

### 9.2.3. Kebutuhan Sistem

Beberapa kebutuhan sistem (*system demands*) adalah konstan terhadap waktu, sebagian yang lain bervariasi. Bahkan pada saat laju alir bervariasi terhadap waktu mungkin tidak diperlukan untuk mengatur laju alir secara kontinu. Pompa dapat dinyalakan maupun dimatikan dan apabila ada variasi bisa menggunakan tanki penampung.

Sebagai contoh adalah sangatlah umum untuk menampung air limbah di dalam sebuah sumur dan akan dimulai memompa keluar pada saat permukaan cairan mencapai ketinggian tertentu. Ketika air limbah sudah terpompa maka pompa akan dimatikan dan siklus ini akan berulang kembali.

Beberapa sistem pompa mempunyai variasi harian yang besar, yang lainnya bervariasi terhadap musim. Misalnya untuk industri yang laju alir fluidanya bervariasi terhadap jumlah produk. Untuk mengoptimalkan kondisi ini maka sangatlah penting untuk memahami apa yang sebenarnya diperlukan oleh sistem.

### 9.2.4. Parameter Desain dan Kondisi Operasi Aktual

Pompa Sentrifugal umumnya didesain untuk menangani kebutuhan laju alir kondisi maksimalnya (kondisi puncak) dari satu sistem pompa. Sayangnya kondisi puncak ini terjadi hanya pada periode waktu yang singkat. Akibatnya pompa sering kali beroperasi pada laju alir yang berkurang dari kondisi desainnya dan ini sering dilakukan dengan cara *throttled*.

Sebagai contoh, *cooling system* harus menanggung beban puncak pada saat cuaca panas tetapi banyak waktu beroperasi pada jam-jam dengan beban rendah, sistem pompa limbah air yang didesain untuk mampu memompa air hujan pada kondisi curah hujan tinggi.

Gambar 9-10 memperlihatkan kurva variasi pembebanan pada sistem pompa.

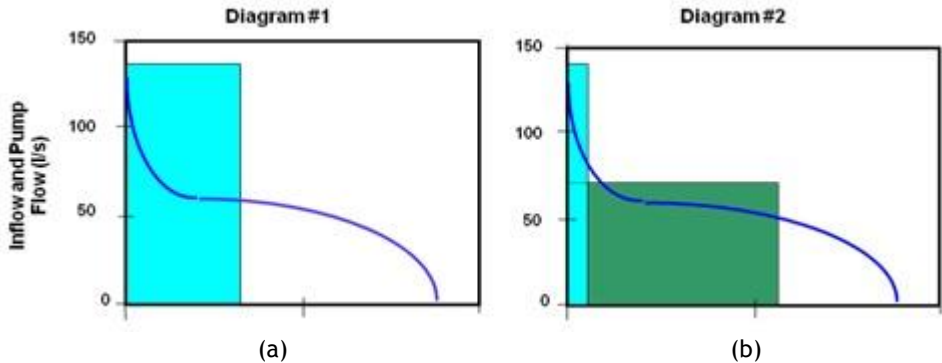


Gambar 9-10. Variasi pembebanan pada sistem pompa.

Karena kebanyakan sistem didesain untuk laju alir pada beban puncak maka pompa akan bekerja pada beban parsial hampir sepanjang waktu. Mengoperasikan sistem pada beban parsial umumnya tidak efisien. Terdapat potensi yang besar

dalam penghematan energi apabila pompa diganti dengan efisiensi tinggi pada kondisi operasi yang dekat dengan kondisi aktualnya.

Untuk mengatasi kondisi variasi beban di atas, maka berikut ini opsi dalam optimasi sistem dengan menggunakan 2 buah pompa (Gambar 9-11).



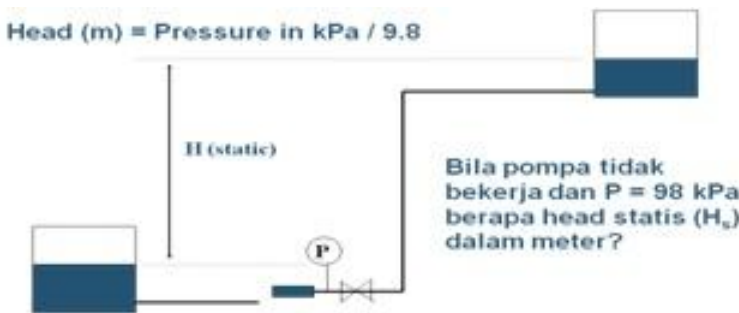
Gambar 9-11. Optimasi penggunaan 2 pompa pada beban variasi.

Diagram (a) menunjukkan sebuah pompa beroperasi 2500 jam per tahun pada laju alir 130 l/detik - total aliran ditunjukkan oleh daerah di dalam curva tersebut. Sedangkan diagram (b) menunjukkan jumlah aliran yang sama yang dipompakan oleh 2 buah pompa. Pompa 130 l/detik hanya beroperasi selama 200 jam per tahun dan sebuah pompa yang lebih kecil dengan rata-rata laju alir 70 l/detik beroperasi selama 5000 jam. Penghematan dengan dua pompa ini diperoleh karena hampir seluruh fluida yang dipompakan pada laju alir yang lebih rendah.

### 9.2.5. Persamaan Fluida pada Sistem Pompa

#### 9.2.5.1. Static Head

Perhatikan sistem pompa sederhana pada Gambar 9-12.



Gambar 9-12. Sistem pompa sederhana.

Jawaban nya adalah *head* statis sistem ini adalah 10 m.

### 9.2.5.2. *Velocity Head*

*Velocity head* ( $H_v$ ) adalah sejumlah energi yang diperlukan untuk menyebabkan air bergerak pada kecepatan yang ditentukan. *Velocity head* memberitahukan kita seberapa banyak energi yang tersimpan dalam bentuk energi kinetik. Ini bervariasi dengan kuadrat kecepatan fluida dan juga dengan luasan yang digunakan untuk aliran tersebut. Pada kebanyakan sistem, kecepatan fluida dijaga pada kondisi rendah untuk membatasi besarnya *velocity head*. Rugi-rugi gesekan (*frictional losses*) adalah proporsional dengan *velocity head*.

Velocity Head dirumuskan sebagai berikut:

$$H_v = \frac{v^2}{2g}$$

keterangan:

$V$  = kecepatan, [meter/detik]

$g$  = percepatan gravitasi, [9,8 m/detik<sup>2</sup>]

Untuk menentukan kecepatan, persamaan berikut dapat digunakan:

$$v = \frac{Q}{A}$$

keterangan:

$Q$  = laju alir dalam, [m<sup>3</sup>/detik]

$A$  = luas penampang pipa, [m<sup>2</sup>]

*Velocity head* umumnya di bawah 0,5 m dan biasanya dapat dipertimbangkan minimal pada banyak sistem pemompaan air.

### 9.2.5.3. *Rugi-rugi Karena Gesekan*

*Head loss* ( $H_f$ ) adalah rugi-rugi energi dikarenakan oleh gesekan dengan material pipa dan dinyatakan dalam *meter head*. Rugi-rugi ini dapat ditentukan secara teoritis menggunakan persamaan *Darcy Weisbach* atau *Hazen-Williams*. Namun demikian  $H_f$  dapat ditentukan dengan lebih akurat di lapangan dengan pengukuran tekanan.

Sangat penting untuk dapat mengetahui berapa besarnya tekanan yang diperlukan untuk menekan aliran fluida pada sistem pipa. Untuk melakukan ini persamaan *Darcy Weisbach* atau *Hazen Williams* digunakan.

Perlu diingat bahwa adalah merupakan perkiraan dan penurunan tekanan dapat berubah terhadap waktu dikarenakan oleh perubahan *roughness*, jalur pipa, dan lain-lainnya.

Persamaan penting dalam usaha optimasi sistem pompa.

$$\text{Fluid Power} = \frac{\text{Flow rate} \times \text{Head} \times \text{Density}}{102}$$

keterangan:

*Flow rate* dalam l/s

*Head* dalam m

$$\text{Fluid Energy} = \text{Fluid Power} \times \text{Operating Time}$$

Menurunkan run time }  
Menurunkan flow rate } Menurunkan energi, biaya  
Menurunkan head }

Adalah sangat penting untuk tidak sekedar memahami, tetapi tetap menggunakan persamaan di atas sebagai hal utama ketika mempertimbangkan penggunaan energi secara efektif pada sistem pemompaan. Persamaan ini sangat sederhana tetapi sangat berguna.

#### 9.2.5.4. Output Pompa

*Output* pompa diukur dalam *meter head* pada Sistem ISO. Tiga istilah umum untuk menyatakan energi di dalam air adalah:

- *Elevation/Pressure Head (Static Head* atau  $H_s$ )
- *Velocity Head* ( $H_v$ )
- *Head loss* dikarenakan oleh *Frictional Losses* ( $H_f$ )

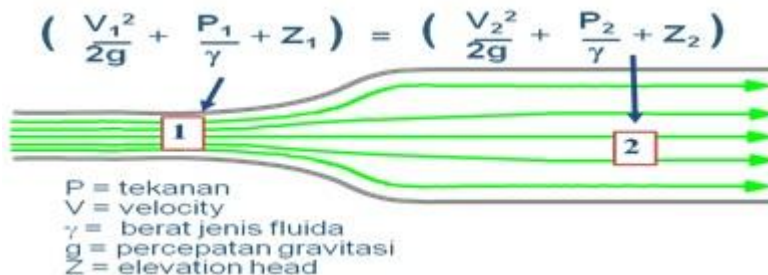
$$\text{Total Head (TDH)} = H_s + H_v + H_f$$

Hal ini berarti bahwa *head* yang dibangkitkan oleh pompa adalah digunakan untuk mengatasi friksi, mengangkat fluida, dan untuk menciptakan energi kinetik di dalam fluida.

Ketika mengukur *output head* pompa adalah independen terhadap berat jenis dari fluida yang dipompakan.

### 9.2.5.5. Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa energi total adalah tetap sepanjang saluran yang *frictionless streamline* (lihat Gambar 9-13).



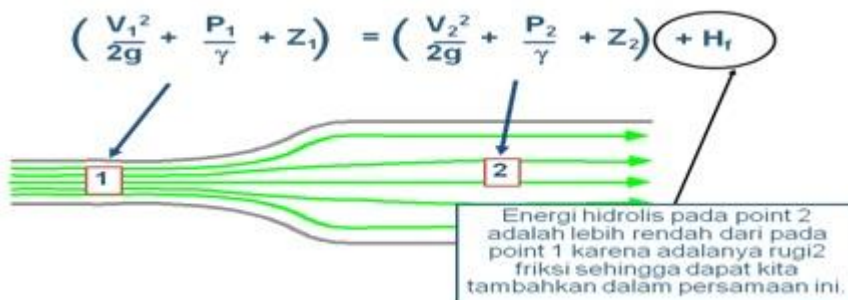
Gambar 9-13. Ilustrasi prinsip Bernoulli.

Kuadrat *velocity* dibagi dengan  $2g$  merupakan hal penting yang merupakan *velocity head*. Selain berfungsi di dalam persamaan Bernoulli hal ini juga sangat penting dalam hubungannya menentukan *pressure drops* dihubungkan dengan friksi.

Komponen *pressure head* dan  $Z$ , yang biasa disebut dengan *elevation head* kalau dikombinasikan akan menjadi *static head* dan dalam sistem adalah tetap.

Akhirnya bisa disampaikan di sini bahwa *head* adalah energi per unit berat, sehingga persamaan Bernoulli ini benar-benar merupakan persamaan konservasi energi.

Pada kenyataannya setiap saluran/pipa pasti mempunyai friksi di permukaan alirnya, untuk itu persamaan Bernoulli di atas dapat dimodifikasi sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9-14.



Gambar 9-14. Ilustrasi modifikasi prinsip Bernoulli.

Jika *head* adalah kehilangan dari *point 1* ke *point 2*, maka perlu ditambahkan di sisi kanan persamaan tersebut dengan  $H_f$  yang adalah *head loss* karena friksi di antara kedua titik tersebut.

Rugi-rugi friksi dari pipa diestimasikan berdasarkan pada sebuah persamaan yang disebut dengan Darcy-Weisbach.

$$H_f = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

keterangan:

- $H_f$  = Penurunan tekanan (*pressure drop*), [m]
- $f$  = *Darcy friction factor*
- $L$  = panjang pipa, [m]
- $d$  = diameter pipa, [m]
- $(V^2)/2g$  = *velocity head*, [m]

Hanya dengan melihat persamaan ini dapat diambil hubungan antara *frictional pressure drops* dan parameter-parameter lainnya sebagai berikut:

<i>Double dari:</i>	<i>Pengaruh pada pressure drop</i>
<i>friction factor, f</i>	<i>Doubled</i>
<i>length, L</i>	<i>Doubled</i>
<i>pipe diameter, d</i>	<i>Halved</i>
<i>fluid velocity, V</i>	<i>Quadrupled</i>
<i>velocity head, V<sup>2</sup>/2g</i>	<i>Doubled</i>

Akan tetapi perlu dicatat bahwa beberapa parameter ini adalah saling terkait, sehingga perubahan tertentu akan sangat signifikan.

Apa saja yang merupakan sumber dari friksi? Berikut ini di antaranya:

- *Valves*
- *Elbows*
- *Tees*
- *Reducers/expanders*
- *Expansion joints*
- *Tank inlets/outlets*

Dengan kata lain hampir semua yang dilewati oleh fluida yang dipompakan akan menimbulkan friksi termasuk fluidanya sendiri.

Untuk komponen pipa, *frictional losses* secara umum diestimasikan berdasarkan pada *velocity head*.

$$H_f = K \times \frac{V^2}{2g}$$

keterangan:

$K$  = *Loss coefficient*

$(V^2)/2g$  = *velocity head, [m]*

$K$  adalah fungsi dari ukuran

*valves* adalah jenis *valve*

% bukaan *valve*.

Berikut beberapa harga  $K$  untuk beberapa jenis *valve*.

Komponen	Komponen $K$
90° <i>elbow, standard</i>	0,2 - 0,3
90° <i>elbow, long radius</i>	< 0,1 - 0,3
<i>Square-edged inlet (from tank)</i>	0.,5
<i>Discharge into tank</i>	1
<i>Check valve</i>	2
<i>Gate valve (full open)</i>	0,03 - 0,2
<i>Globe valve (full open)</i>	3 - 8
<i>Butterfly valve (full open)</i>	0,5 - 2
<i>Ball valve (full open)</i>	0,04 - 0,1

#### 9.2.5.6. *Specific Gravity/Relative Density*

*Specific gravity* adalah hubungan antara berat fluida dibandingkan dengan berat air pada temperatur 16,7 °C.

Untuk evaluasi sistem pompa maka *specific gravity* 1.0 dapat digunakan pada rentang temperatur 0 sampai dengan 26 °C. Tetapi, jika temperatur air naik maka *specific gravity* akan turun dan akan menurunkan *power* pompa.

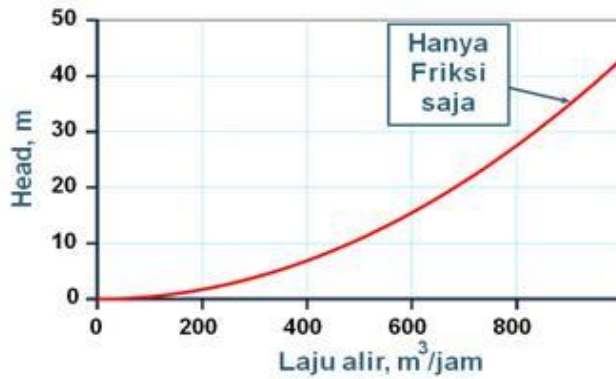
Untuk evaluasi sistem pompa dengan fluida selain air, *specific gravity* fluida tersebut harus dimasukkan dalam perhitungan pompa.

Apabila *relative density* yang digunakan bukan *density* maka *power* akan dinyatakan dalam kW.

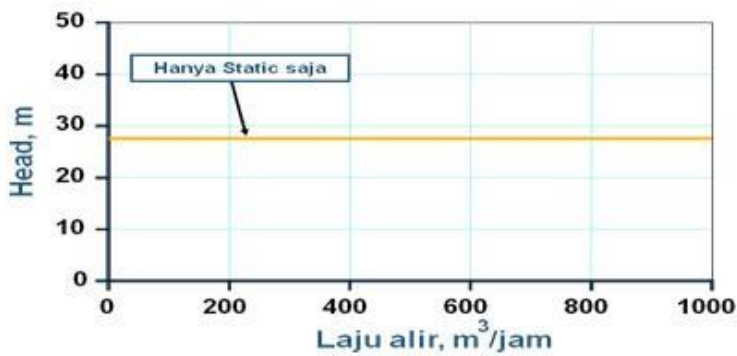
#### 9.2.5.7. *Kurva Head System*

Hambatan laju alir terdiri atas dua bagian utama. Yang pertama adalah *head* yang dibutuhkan untuk mengatasi friksi di dalam sistem. *Head* ini proporsional terhadap kuadrat dari kecepatan aliran. Yang kedua adalah *head* yang dibutuhkan untuk mengatasi perubahan elevasi di dalam sistem. *Head* ini proporsional terhadap perbedaan tinggi saja. Contoh kurva *head system* untuk sistem dengan friksi saja dan statis saja dapat dilihat pada Gambar 9-15 dan Gambar 9-16.



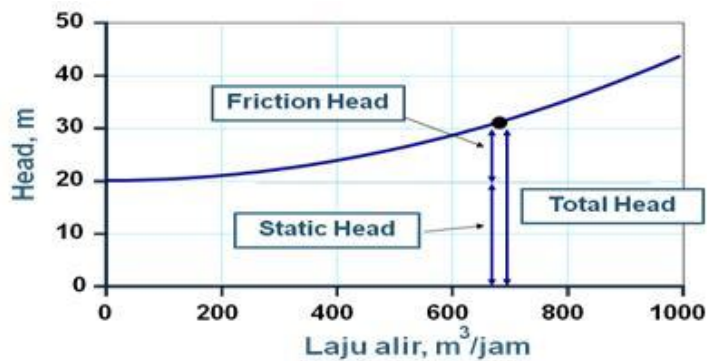


Gambar 9-15. Contoh kurva *head system* untuk sistem dengan friksi saja.

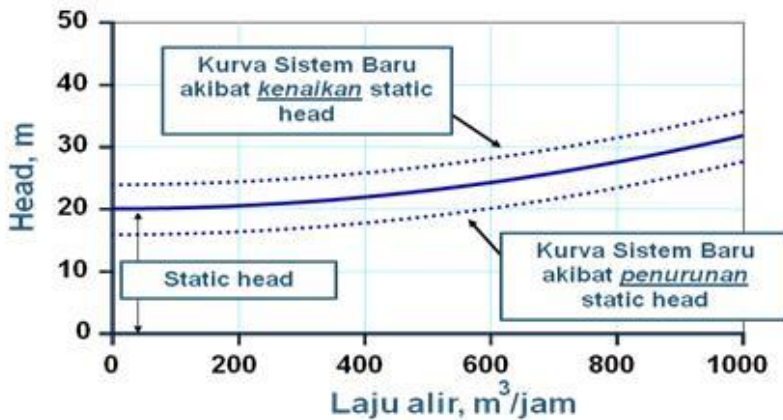


Gambar 9-16. Contoh kurva *head system* untuk sistem dengan beban statis saja.

Pada kenyataannya sistem pompa selalu kombinasi antara beban friksi dan beban statis seperti pada kurva berikut ini. Contoh kurva kombinasinya dapat dilihat pada Gambar 9-17 s.d Gambar 9-18.

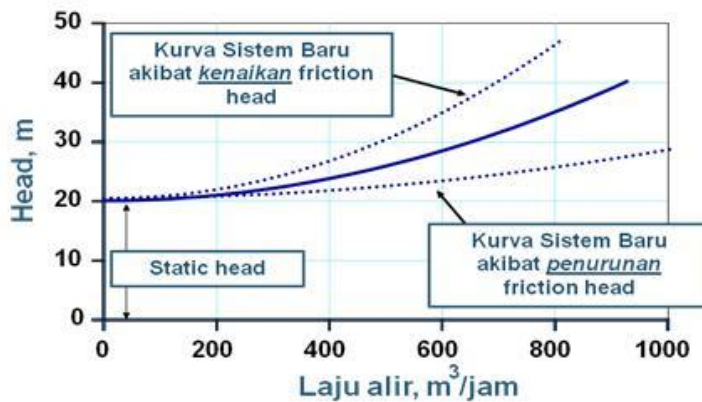


Gambar 9-17. Contoh kurva *head system* untuk sistem dengan kombinasi statis dan friksi.



Gambar 9-18. Pengaruh kurva *head system* akibat perubahan *static head*.

Perubahan perbedaan tinggi akan menggerakkan kurva secara total naik ataupun turun.



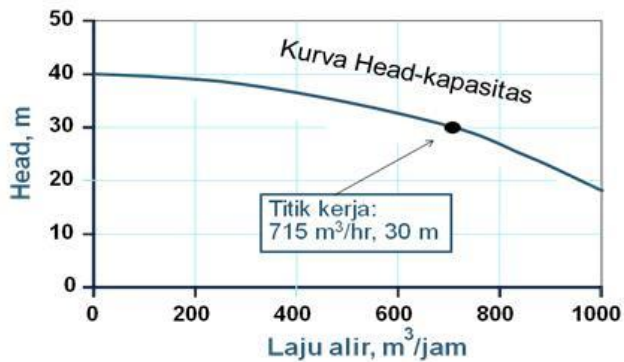
Gambar 9-19. Pengaruh kurva *head system* akibat perubahan *friction head*.

#### 9.2.5.8. Titik Kerja Pompa

Sebuah pompa akan selalu bekerja pada titik dimana kurva sistem berpotongan dengan kurva pompa. Pada titik ini terdapat kesetimbangan antara apa yang diperlukan oleh sistem dan berapa yang bisa diberikan oleh pompa tersebut.

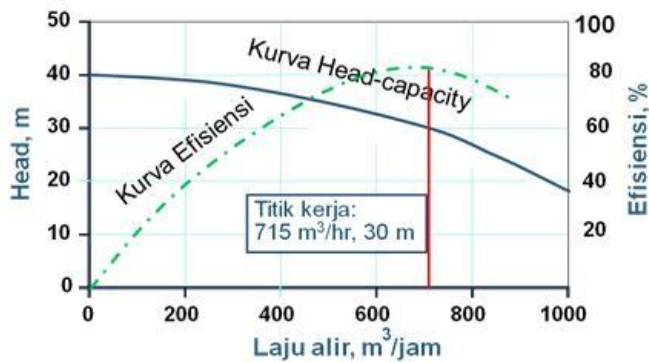
Contoh sebuah kurva pompa sebagai berikut:

Data *name plate* pompa menunjukkan pada satu titik kerja, selebihnya mengikuti kurva seperti contoh pada Gambar 9-20.



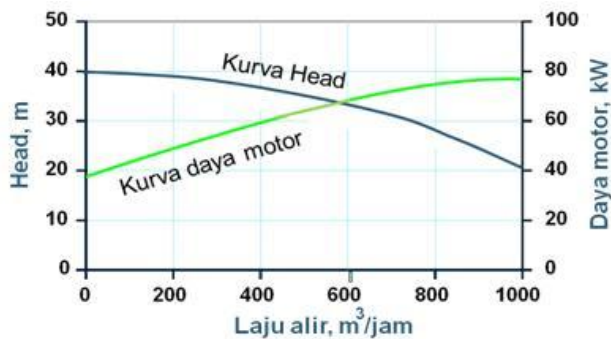
Gambar 9-20. Kurva *Head* - Kapasitas.

Pada kurva ini, yang menunjukkan *total head* yang bisa diberikan oleh pompa tersebut sebagai fungsi dari laju alir secara umum dinamakan *pump head/capacity curve*, atau *H/Q curve*. Efisiensi pompa dapat dilihat pada Gambar 9-21.



Gambar 9-21. Kurva efisiensi pompa.

Kurva daya motor pompa dapat dilihat pada Gambar 9-22.



Gambar 9-22. Kurva daya motor pompa.

Untuk perubahan operasi pompa maka dianut hukum afinitas pompa sebagai berikut:

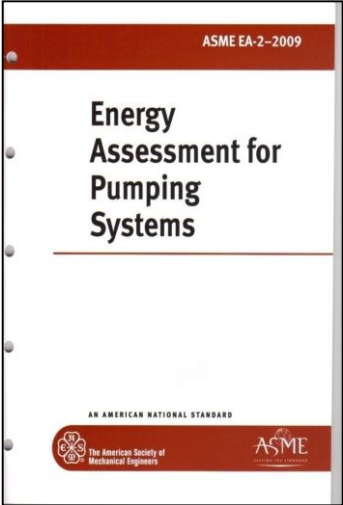
<u>Kecepatan</u>	<u>Diameter</u>
$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^1$	$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^1$
$\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	$\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$
$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$	$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$

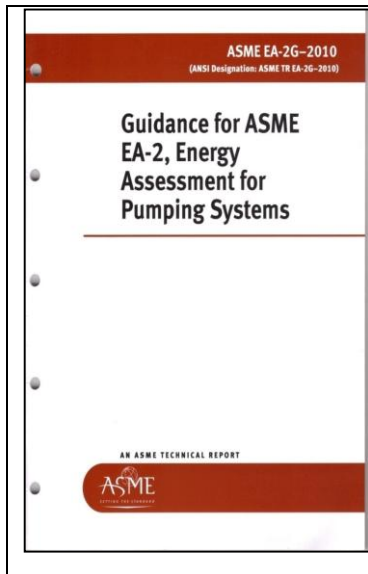
Q = laju alir    H = head    P = daya    N = kecepatan    D = diameter

Bila dimungkinkan untuk melakukan perubahan kecepatan pompa ataupun diameter *impeller*, maka hukum afinitas pompa seperti di atas dapat digunakan.

### 9.3. AUDIT ENERGI PADA SISTEM POMPA

Untuk melakukan kajian tentang pemakaian energi pada sistem pompa dapat dilaksanakan dengan audit energi. Dalam pelaksanaannya sebaiknya mengacu kepada standar yang berlaku secara umum. Salah satu standar yang digunakan adalah ASME, yang dicantumkan dalam dokumen *ASME Pump Assessment Standard & Guidance Document*.

	<p><b>ASME EA-2-2009</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memberikan pengertian umum tentang apa saja yang perlu dimasukkan dalam suatu kajian sistem pompa sebagai pengganti kekurangan standarisasi untuk sistem pompa yang sebelumnya dievaluasi sebagai bagian dari evaluasi energi, audit, survei, maupun dalam studi energi;</li> <li>• Memberikan definisi yang spesifik yang harus dilakukan untuk tingkatan kajian yang berbeda.</li> </ul>
---	--



### **Guidance Document EA-2G-2010**

- Memberikan latar belakang teknis dan aplikasi lengkap untuk membantu para pengguna mengaplikasikan standar ini;
- Mencakup pemahaman untuk keperluan persyaratan teknis, catatan-catatan dalam aplikasinya, pendekatan alternatif, teknis, dan contoh-contohnya.

Standar atau dokumen ASME tersebut memberikan arahan, yaitu:

- Menyediakan setiap tahap pendekatan untuk melakukan kajian tentang energi pada sistem pompa;
- Mengidentifikasi tingkat kajian energi dan hal-hal yang diperlukan dalam setiap kajiannya;
- Menekankan tentang pentingnya pendekatan sistem;
- Melakukan review tentang data peralatan yang harus dikumpulkan untuk evaluasi sistem pompa;
- Menjadikan solusi yang umum untuk dilakukan dalam optimasi sistem pompa;
- Menampilkan hasil kajian dalam format yang baik.

### **9.3.1. Tujuan**

Tujuan dilakukannya audit energi pada sistem pompa adalah untuk mendapatkan kondisi atau status terkini kinerja sistem pompa. Selanjutnya dapat direkomendasikan peningkatan kinerja atau efisiensi sistem sekaligus potensi penghematan energinya.

### **9.3.2. Ruang Lingkup**

#### **9.3.2.1. Ruang Lingkup Kajian**

Pengertian ruang lingkup kajian di sini adalah “wilayah” mana saja yang menjadi sasaran atau tugas untuk dilakukan kajiannya. Untuk audit energi pada sistem pompa ruang lingkup kajiannya meliputi: pompa, pemipaan, katup-katup, serta penampung atau *reservoir* fluida.

### 9.3.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan

Sedangkan yang dimaksud dengan ruang lingkup kegiatan/pekerjaan adalah hal-hal apa saja yang mesti dilakukan dalam melaksanakan kegiatan atau pekerjaan audit energi pada sistem pompa.

Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan inilah yang akan dibahas secara rinci di dalam buku ini, mulai Subbab 9.4 hingga selesai.

Perlu disampaikan di sini bahwa Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan dirancang berdasarkan Ruang Lingkup Kajian. Oleh karena itu dengan melaksanakan - tahap demi tahap - kegiatan/pekerjaan sebagaimana diuraikan pada Subbab 9.4 hingga selesai berarti juga sudah memenuhi Ruang Lingkup Kajian.

Ruang lingkup kegiatan/pekerjaannya meliputi: a) Persiapan, b) pengukuran, c) analisis, dan d) penyusunan laporan.

## 9.4. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM POMPA

Hal-hal yang mesti dipenuhi terlebih dahulu sebelum datang ke *site* atau pabrik adalah sebagai berikut:

### 1. Identifikasi dan Tanggung Jawab Anggota Tim Kajian

- *Authorized Manager* - menerima seluruh tanggung jawab untuk pendanaan dan membuat keputusan (sering kali tidak datang saat melakukan kajian);
- *Assessment Team Leader* - sangat faham dengan operasional dan perawatan sistem pompa yang akan di-review dan mampu mengorganisasikan anggotanya untuk evaluasi sistem pompa;
- Tenaga Ahli Sistem Pompa - orang yang mampu (*qualified*) untuk melakukan kegiatan kajian, analisis data, dan membuat laporan.

### 2. Fasilitas Pendukung Manajemen

Dukungan tertulis harus disiapkan oleh manajemen dari tempat yang akan dikaji untuk komitmen terhadap sumber daya yang diperlukan. Surat perjanjian atau *purchase order* harus sudah ada sebelum datang ke *site* yang secara jelas menyebutkan Tujuan dan Lingkup Kajian.

Selanjutnya hal-hal lain yang juga mesti dipenuhi sebelum tiba di *site* dan saat dilaksanakannya *kick-off meeting* adalah sebagai berikut:

### 1. Memeriksa Sumber Daya dan Informasi

- Me-review cara-cara masuk ke area peralatan (sistem pompa);
- Mendiskusikan keperluan personil untuk melakukan kajian dengan pihak yang akan dikaji (teknisi listrik, insinyur, staf operasi);
- Menentukan cara-cara mendapatkan data, seperti *drawings*, *manuals*, tagihan biaya energi, *computer monitoring*, dan data pengaturan.

### 2. Menentukan Tujuan dan Lingkup Kajian

Tujuan keseluruhan (*overall goals*) dan Lingkup Kajian harus di-review.

(Hal ini ditentukan sebelum berkunjung ke *site*, akan tetapi tidak perlu dilakukan dengan seluruh anggota peserta *meeting*).

Sebelum datang ke *site*, segenap anggota Tim diharapkan fokus kepada data pompa yang akan dievaluasi. Data tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk tabel (lihat Tabel 9-1 dan Tabel 9-2).

#### 9.4.1. Data Awal

Setelah hal-hal sebagaimana disebutkan di atas dipenuhi maka langkah berikutnya adalah mendapatkan informasi tentang data awal. Dengan adanya data awal ini maka tim auditor dapat mempersiapkan atau mengantisipasi segala sesuatu yang dibutuhkan pada saat pelaksanaan pengumpulan data di lapangan/pabrik dengan lebih teliti dan lengkap. Segala sesuatu yang dimaksudkan di sini meliputi: jumlah personil, waktu yang dibutuhkan untuk pengumpulan data, dan peralatan yang akan dibawa (alat-alat ukur, pendukung, dan keselamatan (*safety*)).

Data awal yang dibutuhkan adalah:

- Jumlah dan spesifikasi masing-masing pompa;
- Alat ukur yang terpasang dan beroperasi dengan baik atau pembacaannya akurat, misalnya:
  - *Flowmeter*
  - *Pressure gauge*
  - *Temperature-meter*

Data awal tersebut di atas dapat diperoleh melalui 2 cara, yaitu: 1) tinjauan langsung atau survei awal, atau 2) pengiriman lembar isian atau kuesioner.

Cara pertama, yakni tinjauan langsung atau survei awal merupakan cara yang sangat disarankan. Melalui survei awal ini tim auditor dapat mencatat, melihat, mendengar, dan merekam/mendokumentasikan secara langsung sistem yang akan diauditnya.

Pada saat melakukan survei awal ini tim auditor disarankan membawa serta Lembar Isian (Kuesioner) Data Awal Informasi Industri (lihat Lampiran 1-1). Dengan demikian Lembar Isian ini langsung diisi oleh tim auditor. Selain itu dibawa pula Lembar Isian berwujud tabel (lihat Tabel 9-1 dan Tabel 9-2)

Cara kedua adalah mengirimkan Lembar-lembar Isian sebagaimana dimaksudkan di atas. Tim Auditor bersikap pasif, menunggu hingga kuesioner itu diisi oleh pihak pabrik dan dikembalikan kepada tim auditor.



Tabel 9-1  
Contoh lembar isian sistem pompa

Pump System Screening Questions					
System Name/ ID	Paper Machines 411 and 412				
	Pump ID				
	Pump #401	Pump #605	Pump #333	Pump #210	Pump #422
Estimated annual operating hours	7600	7600	7600	7600	7600
Motor rated hp	75	125	150	100	150
Is system throttle valve-controlled?	yes	yes	yes	yes	yes
Is the pump bypassing to regulate flow/pressure?	no	no	no	no	no
Multiple parallel pumps with same # normally operating?	yes	yes	yes	yes	yes
Distributed cooling system with multiple unregulated loads?	no	no	no	no	no
Constant pump operation in batch process?	constant	constant	constant	constant	constant
Frequent cycle batch operation in continuous process?	no	no	no	no	no
Cavitation noise at pump or elsewhere in system?	no	no	no	no	no
High system maintenance without obvious causes?	no	no	no	no	yes
Has system function or demand changed over time with no pump change?	no	no	no	no	no
Is flow metered?	yes	yes	yes	yes	yes



Tabel 9-2

Contoh lembar isian sistem pompa (penggunaan energi dan biaya, untuk menentukan unit biaya)

 							
SAVE ENERGY NOW PRE-ASSESSMENT SURVEY FORM							
Step 2: Plant's Energy Consumption & Production Overview							
Current Year	2010						
Month	Monthly Site Electricity Consumption (MWH)	Total Monthly Electricity Cost (\$)	Monthly Natural Gas Consumption (MMBtu)	Total Monthly Natural Gas Cost (\$)	Monthly Steam Consumption (MMBtu)	Total Monthly Steam Cost (\$)	Monthly Heavy Fuel Oil Consumption (MMBtu)
January	6.57	\$445,924	17,448	\$120,466	78,698	\$451,885	
February	6.39	\$456,088	16,635	\$147,556	72,787	\$447,478	
March	6.86	\$466,007	17,809	\$123,209	73,095	\$437,502	
April	5.65	\$459,013	14,379	\$143,309	49,906	\$373,967	
May	7.41	\$513,624	19,652	\$121,629	54,454	\$375,194	
June	7.88	\$545,731	20,353	\$161,600	53,877	\$379,361	
July	7.32	\$527,183	16,738	\$143,719	52,889	\$379,405	
August	7.49	\$530,737	19,189		50,424	\$364,642	
September							
October							
November							
December							
Grand Total	55.58	\$3,944,308	142,201.80	\$961,488	486,129	\$3,209,434	0

## 9.4.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

### 9.4.2.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan data awal sebagaimana diuraikan di dalam Subbab 9.4.1, selanjutnya dibentuk Tim. Personil yang dibutuhkan sangat tergantung pada lingkup audit yang akan dilakukan serta jumlah dan ukuran peralatan yang akan diaudit. Kebutuhan minimum personil untuk melakukan audit pada sistem pompa sebanyak 3 orang, yaitu:

- 1 orang auditor energi (*mechanical/process engineer*) selaku Koordinator atau *Lead Auditor*;
- 1 orang teknisi mesin; dan
- 1 orang teknisi listrik.

### 9.4.2.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan teknisi untuk mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem pompa. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Pompa (Lampiran 1-9) dan diserahkan kepada teknisi;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:
  - Lokasi titik-titik ukur sistem pompa di industri yang akan diaudit;
  - Penempatan alat-alat ukur dan pendukung;
  - Cara pengisian Lembar Isian Sistem Pompa; serta
  - Penggunaan peralatan keselamatan (*safety*) selama berada di industri.
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik;
- g). Menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem pompa ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i). Apabila audit energi pada sistem pompa ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem pompa saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

Teknisi bertugas:

- Mempersiapkan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan pada pengukuran sistem pompa. Alat-alat ukur yang akan digunakan adalah alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi;
- Memasang dan mengoperasikan alat-alat ukur dan pendukung pada saat pengukuran;
- Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder atau pengukuran di pabrik berdasarkan Lembar Isian Sistem Pompa (Lampiran 1-9);
- Mengembalikan alat-alat ukur, pendukung, dan pelindung keselamatan (*safety*) yang telah digunakan pada pengukuran sistem pompa.

### 9.4.3. Penyusunan Jadwal Kegiatan

Apabila audit energi pada sistem pompa ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator Tim tidak perlu menyusun jadwal kegiatan. Koordinator beserta segenap anggota Tim mengikuti jadwal yang telah disusun oleh Manajer Tim, yang merupakan bagian dari kegiatan secara keseluruhan.

Namun, apabila audit energi pada sistem pompa ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem pompa saja, maka Koordinator bertugas menyusun jadwal kegiatan. Contoh jadwal kegiatannya dapat dilihat pada Tabel 9-3.

Tabel 9-3

Contoh jadwal kegiatan audit energi pada sistem pompa  
(apabila audit energi ini sebagai audit energi “tunggal”)

No	Kegiatan	Minggu Ke-				
		1	2	3	4	5
1	Persiapan - Pengumpulan data awal (melalui survei awal atau pengiriman kuesioner) - Pembahasan data awal, pembentukan tim, persiapan peralatan, dan mobilisasi					
2	Pengumpulan data primer dan sekunder					
3	Evaluasi dan Analisis Data					
4	Penyusunan laporan					
5	Presentasi laporan akhir					
6	Koordinasi manajemen					

### 9.4.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

#### 9.4.4.1. Persiapan Administrasi

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 9.4.2.2. Selain itu Koordinator juga

berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya sewa peralatan, bahan habis terpakai, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

9.4.4.2. Persiapan Teknis



Pengertian persiapan teknis di sini adalah persiapan menyangkut peralatan yang akan digunakan di lapangan, khususnya pada saat pengambilan data primer melalui pengukuran.

Persiapannya meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a. Membuat daftar peralatan yang akan dibawa dan digunakan di lapangan atau pada saat pengukuran. Daftar tersebut memuat informasi:
  - a.1. Klasifikasi peralatan: (1) alat ukur, (2) alat bantu atau pendukung, dan (3) alat pelindung keselamatan.
  - a.2. Pada masing-masing klasifikasi tersebut di atas dituliskan nama, merek, dan jumlah alat.
- b. Memeriksa dengan cermat setiap peralatan yang akan dibawa dan digunakan. Pemeriksaan lebih dikhususkan pada kondisi peralatan. Khusus peralatan ukur, alat harus dalam kondisi baik, berfungsi atau dapat dioperasikan, dan sudah dikalibrasi.
- c. Mengemas peralatan dengan hati-hati, aman, dan benar untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan menuju lokasi atau lapangan.

Dengan mengetahui jenis dan jumlah alat-alat ukur yang terpasang di pabrik (melalui data awal) maka pada tahap persiapan ini dapat dipersiapkan alat-alat yang harus dibawa ke pabrik. Rincian peralatan tersebut di atas, yang biasa digunakan saat melakukan audit energi pada sistem pompa dapat dilihat pada Tabel 9-4 s.d 9-6.

Tabel 9-4  
Peralatan ukur untuk audit energi pada sistem pompa \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b><i>Ultrasonic liquid flowmeter</i></b>  Fungsi: - Alat untuk mengukur laju aliran air yang melalui pipa dengan cara memasang sensor <i>ultrasonic</i> dari alat ini pada bagian luar pipa.	
<b><i>Non contact thermometer</i></b>  Fungsi: - Alat untuk mengukur temperatur pada permukaan objek ukur	

<b>Termokopel</b> Fungsi: Mengukur temperatur	
<b>Manometer</b> Fungsi: Mengukur tekanan	
<b>Digital Multimeter</b> (Fluke 787/EUR TRMS) ( <a href="http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V">http://www.conrad.com/ce/en/product/124374/Fluke----787EURTRMS-digital-multimeter-ProcessMeter-CAT-III-1000-V</a> ) Fungsi: Mengukur besaran listrik (secara terbatas): tegangan, arus, tahanan.	
<b>Clamp-on Power Meter</b> (Hioki 33285 Digital Clamp Meter) ( <a href="http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter">http://www.powerutility.com.au/index.php/clamp-meters-5/hioki-3285-digital-clamp-meter</a> ) Fungsi: Mengukur besaran listrik, meliputi: tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya.	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 9-5  
Peralatan pendukung untuk audit energi pada sistem pompa \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Kabel Gulung Listrik</b> (25 m Power Extension Lead W/Reel-3 Sockets) ( <a href="http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/">http://www.dealsdirect.com.au/25m-power-extension-lead-w-reel-3-sockets/</a> ) Fungsi: - Untuk menyalurkan arus listrik hingga jarak 25 m dari sumber listrik.	
<b>Peralatan Mekanik</b> ( <a href="http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html">http://www.apollotools.com/101-Piece-Mechanics-Tool-Kit.html</a> ) Fungsi: - Sebagai alat bantu untuk pekerjaan yang bersifat mekanik.	

<b>Peralatan Listrik (<i>Electric tool set</i>)</b> <a href="http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1">http://id.aliexpress.com/item/62-in-1-Electric-Tool-Set-Practical-household-Combination-tool-kit-Hammer-Plier-Screwdrivers-Wrenches-Socket/394213113.html?recommendVersion=1</a>  <b>Fungsi:</b> - Sebagai alat bantu untuk pekerjaan yang bersifat kelistrikan.	
<b>Kamera (Digital)</b> <a href="http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/">http://www.xmit.cc/2014/06/30/where-you-can-find-cheap-cannon-digital-cameras/</a>  <b>Fungsi :</b> - Mendokumentasikan (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis.	
<b>Meteran</b> <a href="http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20">http://www.ralali.com/jual-meteran-roll-3-meter-stanley-33-522-20</a>  <b>Fungsi :</b> - Mengukur dimensi (bagian) peralatan atau suatu “temuan” yang akan dianalisis	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

Tabel 9-6  
Peralatan K-3 untuk audit energi pada sistem pompa \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Pelindung Kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) <a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a>	
<b>Kacamata keselamatan</b> (Hornets safety glasses) <a href="http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidsupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a>	
<b>Sarung-tangan kain</b> <a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a>	
<b>Sarung tangan listrik</b> <a href="http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4">http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-socks/insulating-gloves-class-4</a>	
<b>Pelindung mulut dan hidung</b> <a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a>	

Lampu senter ( <a href="https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1">https://www.ikamart.com/elektronik/elektronika-lainnya/157041/jual-senter-swat-lalin-kompas-98000w-2-cahaya-murah-grosir-eceran#ad-image-1</a> )	
Pelindung telinga ( <a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a> )	
Pakaian keselamatan ( <a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a> )	
Sepatu keselamatan ( <a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a> )	

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

#### 9.4.5. Persiapan dan Pengarahan K-3

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu ilmu yang membahas tentang keselamatan dan kesehatan pekerja, lingkungan kerja, dan hasil kerja. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Produktivitas suatu perusahaan salah satunya sangat bergantung pada peran yang dilakukan oleh tenaga kerjanya. Kemampuan tenaga kerja untuk melakukan produksi memerlukan dukungan dan jaminan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

Bahaya kesehatan penting yang mungkin memiliki dampak kesehatan di industri di antaranya:

- Debu yang berada dan melayang di udara
- Kebisingan dan getaran
- Atmosfer yang berbahaya
- Radiasi
- Penanganan bahan bakar alternatif

Terkait dengan kegiatan audit energi, selayaknya Buku Panduan tentang K-3 juga dimiliki oleh suatu institusi atau tim auditor energi. Dengan demikian pada saat tim auditor energi akan diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, maka Koordinator mengingatkan kembali dan/atau memberikan pengarahan di bidang K-3.

Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan

ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

#### **9.4.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan**

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

### **9.5. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER**

#### **9.5.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi**

Sebelum kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder dilaksanakan, tim auditor disarankan untuk melakukan prosesi pembukaan kepada pemilik atau pengelola industri - lazim disebut dengan *auditee* atau pihak yang akan diaudit - sebagaimana layaknya seorang tamu. Langkah pembukaan ini merupakan langkah awal yang akan mengantarkan auditor melaksanakan langkah kegiatan selanjutnya.

Pada rapat pembukaan/*opening meeting*, Tim Auditor memaparkan data-data pompa yang dibutuhkan. Di samping itu pengenalan tim survei/audit, pemaparan latar belakang, maksud, tujuan dan lingkup survei, pemaparan tim *auditee* tentang sistem yang disurvei dan pemaparan agenda survei. Perkenalan tim auditor sistem pompa dan tim *auditee* dilakukan pula pada acara ini. Pengenalan tim dimaksudkan agar masing-masing pihak dapat mengetahui siapa saja yang akan melakukan survei lapangan.

Dalam pengenalan tim, ketua tim survei harus memperkenalkan nama anggota tim, posisi serta tugasnya di dalam survei. Jika diperlukan, dapat ditambahkan latar belakang dan kompetensi anggota tim, supaya komunikasi dengan pihak *auditee*/obyek survei dapat lebih mudah. Dari pihak *auditee*, harus diperkenalkan juga siapa yang bertanggungjawab dan mendampingi dalam pengumpulan data sistem pompa.



## 9.5.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

### 9.5.2.1. Pengumpulan Data Primer

#### A. Data yang Dibutuhkan

Data primer yang dibutuhkan selengkapnya dapat dilihat pada Lembar Isian Sistem Pompa pada Lampiran 1-9. Secara umum data primer yang harus diperoleh - melalui pengukuran - meliputi:

- a) Laju alir fluida keluar dari Pompa, [ton/jam] atau [kl/jam]
- b) Temperatur fluida keluar dari Pompa, [°C]
- c) Tekanan masuk dan keluar pompa, [kg/cm<sup>2</sup>]
- d) Head, [m]
- e) Konsumsi energi listrik, [kVA atau kWh]

#### B. Pemasangan Alat Ukur

Sebelum berangkat menuju lokasi atau sebelum melakukan pengukuran untuk pengambilan data primer, Koordinator Tim memberikan penjelasan kepada para anggotanya perihal titik-titik pengukuran.

Yang dimaksud dengan titik-titik pengukuran adalah titik atau lokasi untuk dipasangnya alat-alat ukur.

Lokasi pemasangan alat ukur harus disepakati dengan *auditee*. Jika diperlukan tambahan pekerjaan untuk pemasangan alat ukur harus disetujui oleh pihak *auditee* dan dikerjakan sebelum survei lapangan dilaksanakan. Pemasangan peralatan ukur harus didampingi oleh pihak *auditee* atau jika memungkinkan dilakukan oleh pihak *auditee* dengan supervisi dari auditor. Setiap data primer yang diperoleh dicatat dan dimasukkan ke dalam berita acara pengumpulan data primer untuk disampaikan dan disetujui oleh pihak *auditee* pada saat pertemuan penutup.

Namun apabila pada sistem pompa tersebut sudah dipasang (oleh pihak industri) alat ukur yang berfungsi dengan baik (akurat) maka auditor tidak perlu lagi memasang alat ukur yang dibawahnya. Pengambilan data dapat menggunakan alat ukur pabrik yang sudah terpasang itu.

#### C. Pelaksanaan Pengukuran

##### C.1. Laju Alir dan Temperatur Fluida

Laju alir dan temperatur fluida diukur pada titik keluar dari pompa. Sekiranya pompa tersebut sudah dilengkapi (oleh pihak industri) dengan alat ukur 2 parameter disebutkan di atas dan berfungsi dengan baik (= akurat) maka auditor cukup mencatat data yang ditunjukkan oleh alat-alat ukur tersebut.

### C.2. Tekanan Masuk dan Keluar Pompa

Tim auditor mengukur (dan mencatat) data tekanan masuk dan keluar pompa.

### C.3. Head Pompa

Tim auditor mengukur (dan mencatat) data *head* pompa.

### C.4. Konsumsi Energi Listrik Pompa

Secara bersamaan dengan pengukuran pada butir D.1 a.d D.3 di atas, Tim Auditor mengukur konsumsi energi listrik pompa dalam satuan kVA atau kW.

## 9.5.2.2. Pengumpulan Data Sekunder

### A. Data Sekunder yang Dibutuhkan

Beberapa data sekunder kemungkinan besar sudah tersedia pada Data Awal Informasi Industri pada saat kegiatan audit energi ini dipersiapkan. Namun demikian perlu dijelaskan bahwa untuk keperluan analisis pada audit energi ini diperlukan data sekunder yang meliputi:

- Jumlah dan spesifikasi masing-masing pompa;
- Model atau pola operasi unit-unit pompa tersebut di atas;
- Jam operasi pompa dalam setahun beserta rata-rata dayanya (hp);
- Salinan catatan operasi (*logsheet* atau *logbook*) unit-unit pompa selama 3 bulan terakhir;
- Dokumen perawatan atau modifikasi yang pernah dilakukan;
- Permasalahan-permasalahan yang sering muncul akhir-akhir ini;
- Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure* (SOP);
- Hasil uji kinerja (*performance test*) pada saat “komisioning” menjelang serah terima unit-unit pompa.

### B. Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder umumnya dilakukan pada saat survei awal. Namun demikian pada saat pelaksanaan pengukuran (data primer) dapat juga sekaligus melengkapi kekurangan data sekunder.

Pengumpulannya juga dilakukan dengan pengamatan serta *interview* terhadap operator dan pihak manajemen pabrik, untuk memperoleh pola konsumsi energi yang lebih rinci serta menggali peluang-penghematan energi yang dapat dilakukan.

## 9.5.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setelah selesai melakukan pengamatan dan pengukuran pada sistem pompa di *plant* maka auditor diharapkan bisa menyampaikan temuan-temuan sementara hasil audit lapangan.

Beberapa temuan yang didapatkan tersebut, antara lain berisi mengenai kondisi

*best practice* yang telah berjalan di *plant*, titik fokus area yang terdapat potensi penghematan energi, evaluasi sesaat pola operasi dan pemeliharaan, dan kondisi eksisting kinerja peralatan yang ada.

## 9.6. ANALISIS

Tujuan pertama analisis ini adalah menghitung efisiensi pompa pada saat dilakukan pengukuran. Harga efisiensi ini kemudian dibandingkan dengan kondisi desain atau hasil uji kinerja pada saat “komisioning”. Apabila efisiensi hasil audit energi ini jauh di bawah efisiensi hasil “komisioning” maka dianjurkan untuk dilakukan pemeriksaan dan perbaikan.

Tujuan kedua adalah untuk mendapatkan neraca energi sistem. Neraca energi ini memberikan banyak informasi yang sangat berguna untuk mencari alternatif-alternatif penghematannya.

Pelaksanaan analisisnya mengacu pada uraian di Subbab 9.2.

### 9.6.1. Justifikasi Finansial dan Pertimbangan LCC

Sebagaimana diuraikan pada Subbab 9.2, justifikasi finansial dan pertimbangan *Life Cycle Cost (LCC)* merupakan pola yang mengawali analisis pada sistem pompa. Langkah awal ini akan menjadikan hasil audit energi pada sistem pompa menjadi terukur dengan berbasis segi pembiayaan.

### 9.6.2. Pendekatan *Prescreening* dan Evaluasi Awal

Terhadap sistem dilakukan *initial prescreening*, *secondary prescreening*, dan evaluasi serta kuantifikasi potensi penghematan energi/biaya yang akan didapatkan

### 9.6.3. Analisis Komponen Sistem

Sebagaimana dibahas di dalam Sub-subbab 9.2.1, analisis dilakukan terhadap komponen atau subsistem, meliputi:

- a. *Adjustable Speed Drive* untuk motor pompa
- b. Rugi-rugi pada motor pompa
- c. Rugi-rugi pada pompa

### 9.6.4. Analisis Sistem Fluida

Dilakukan optimasi sistem fluida (lihat Sub-subbab 9.2.2).

### 9.6.5. Optimasi Sistem

Analisis optimasi sistem dengan mengacu pada uraian di dalam Sub-subbab 9.2.3 hingga 9.2.5.

## 9.7. PENYUSUNAN LAPORAN

Penyusunan laporan audit energi pada sistem pompa bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem pompa merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem pompa yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem pompanya saja yang diaudit.

### 9.7.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem pompa merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 9-23. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 9-24.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 9-23) adalah urutan bab pada sistem pompa. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem pompa berada pada urutan ke-9, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 9 atau V. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 9 atau Bab IX Sistem Pompa.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan meliputi:

a. Deskripsi atau Tinjauan Sistem Pompa

Di sini diuraikan hal-hal mengenai sistem pompa di pabrik tersebut, mulai dari sisi “produsen”, dilanjutkan dengan jaringan distribusinya, hingga sisi “konsumen” yakni peralatan (utama) yang mengkonsumsi fluida. Selain itu juga status konsumsi energi saat ini, dan beberapa lainnya.

b. Lingkup Audit Energi pada Sistem Pompa

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

c. Peralatan Audit Energi

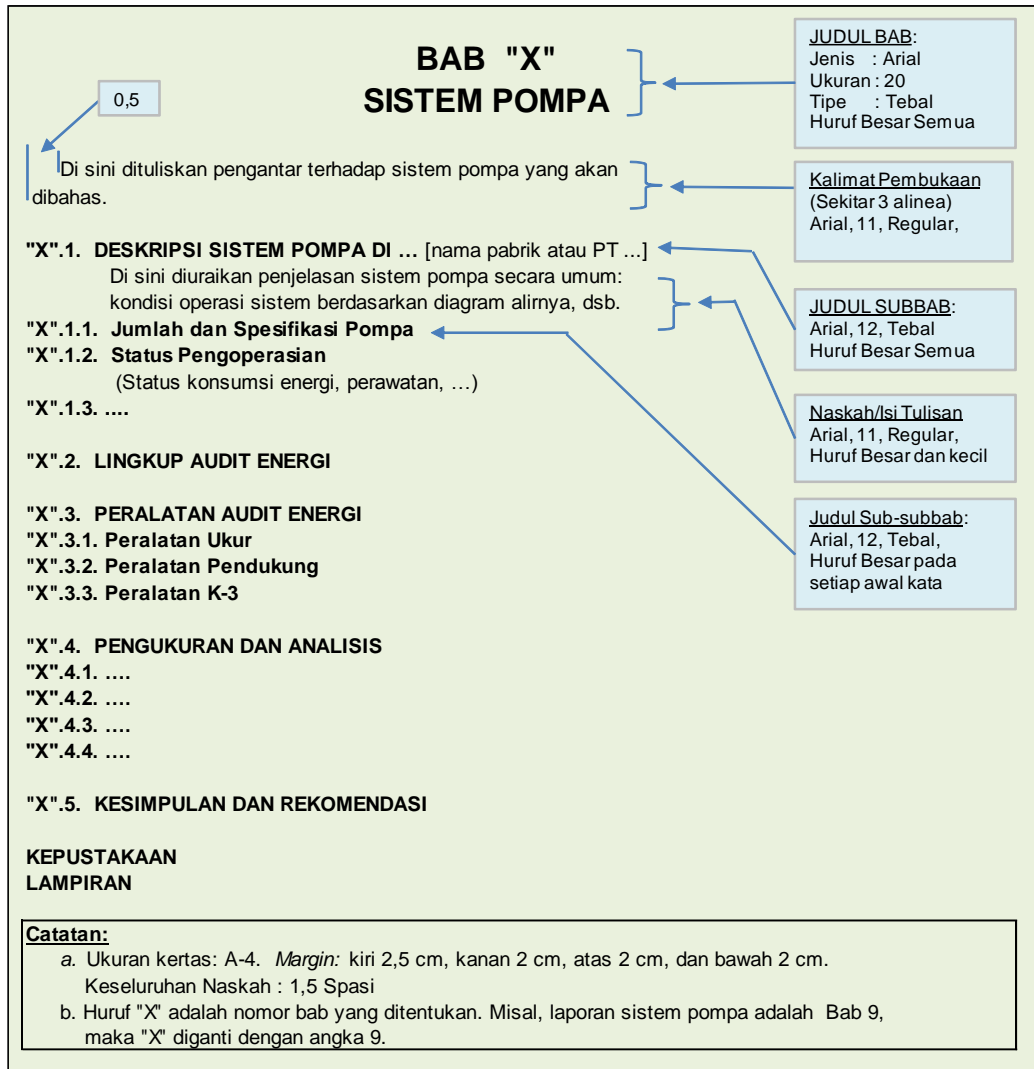
Dijelaskan jenis dan jumlah peralatan yang digunakan dalam melakukan audit energi, meliputi: peralatan ukur, pendukung, dan K-3.

d. Pengukuran dan Analisis

Di sini diuraikan di titik atau lokasi mana saja pengukuran dilakukan. Selain itu juga dijelaskan pengukuran yang dilakukan secara sinambung (*on-line*) dan sesaat. Selanjutnya diuraikan analisis dan/atau perhitungan yang dilakukan atas data hasil pengukuran. Butir penting dalam analisis adalah potensi penghematan energi yang diuraikan secara kuantitatif. Kemudian, potensi penghematan energi ini “dikonversi” menjadi potensi penghematan biaya. Bila dipandang perlu, dilengkapi pula dengan analisis awal tekno ekonomi.

e. Kesimpulan dan Rekomendasi

Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 9-23. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem pompa yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.

### 9.7.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Pompa

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem pompanya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan tersendiri, yang hanya mengulas ikhwal sistem pompa, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengukuran, analisis, hingga kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 9-25.

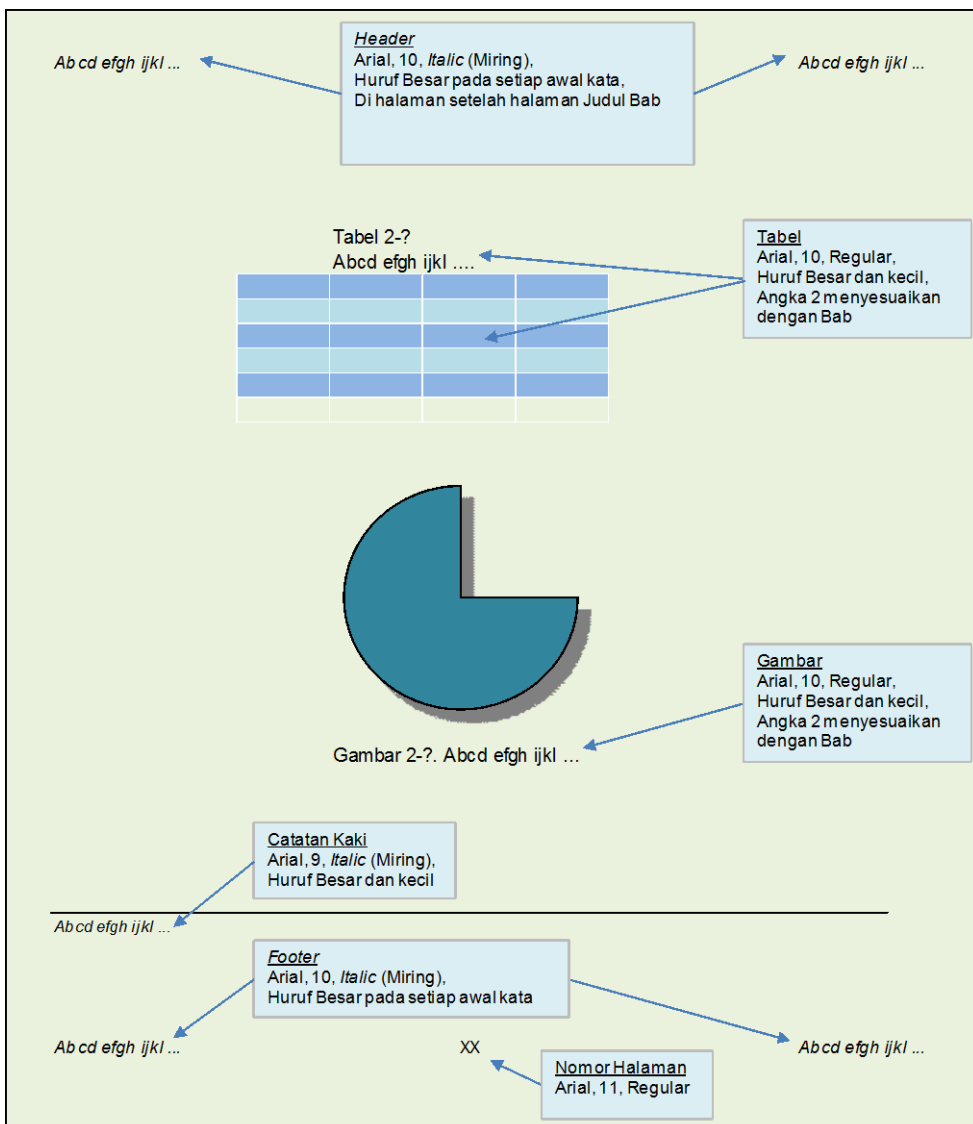
Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

a. Kata Pengantar

Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.

b. Ringkasan Eksekutif

Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.



Gambar 9-24. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

c. Pendahuluan

Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.

d. Deskripsi Sistem Pompa

e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Pompa

f. Peralatan Audit Energi

g. Pengukuran dan Analisis

h. Kesimpulan dan Rekomendasi

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>		
1.1. Identitas Perusahaan	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.2. Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3. ....		
<b>BAB 2 DESKRIPSI SISTEM POMPA DI ... [nama pabrik atau PT ...]</b>		
2.1. Jumlah dan Spesifikasi Pompa		
2.2. Status Pengoperasian		
2.3. ....		
<b>BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI</b>		
<b>BAB 4 PERALATAN AUDIT ENERGI</b>		
4.1. Peralatan Ukur		
4.2. Peralatan Pendukung		
4.3. Peralatan K-3		
<b>BAB 5 PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>		
5.1. ....		
5.2. ....		
5.3. ....		
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>		
6.1 Kesimpulan		
6.2 Rekomendasi		
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>Catatan:</b>		
a. Ukuran kertas: A-4. Margin: kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi		
b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.		
c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.		

Gambar 9-25. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem pompa di industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Council for Energy Efficiency *Economy*. [www.aceee.org](http://www.aceee.org)
- [2] ASME EA-2-2009: *Energy Assessment for Pumping System*
- [3] Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. 2004. *Pumps and Pumping Systems*. In: *Energy Efficiency in Electrical Utilities*, chapter 6.
- [4] <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/training.html>
- [5] *PSO training*, UNIDO 2012
- [6] Sahdev, M. *Centrifugal Pumps: Basic concepts of operation, maintenance and trouble shooting, Part I*. Presented at The Chemical Engineers' Resource [Page. www.cheresources.com](http://www.cheresources.com).
- [7] US Department of Energy (US DOE), Office of Industrial Technologies. *Improving Pump System performance, A Source Book for Industry*. As part of: Motor Challenge Program. 1999 [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs\\_motors.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html)
- [8] US Department of Energy (DOE), Office of Industrial Technologies. *Pump Life Cycle Costs: A guide to LCC analysis for pumping systems*. DOE/GO-102001-1190. 2001. [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs\\_motors.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html)
- [9] US Department of Energy (US DOE), Office of Industrial Technologies. *Variable Speed Pumping - A Guide to Successful Applications. Executive Summary*. 2004. [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs\\_motors.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/techpubs_motors.html)



## BAB 10

# AUDIT ENERGI DI INDUSTRI : SISTEM MANAJEMEN ENERGI

Hariyanto  
Hadi Surachman



**N**aiknya biaya energi dalam struktur biaya di industri dapat disebabkan oleh dua hal. Pertama, terjadinya kenaikan harga energi (bahan bakar dan/atau listrik). Kedua, terjadi ketidakefisienan pada peralatan atau sistem dalam proses pengubahan (konversi) energi.

Industri akan semakin terbebani biaya energi apabila yang terjadi adalah kombinasi dari dua hal tersebut di atas, yakni kondisi ketidakefisienan pada peralatan atau sistem dan kenaikan harga energi.

Hal atau faktor yang pertama, yaitu terjadi kenaikan harga energi dapat disebut sebagai faktor eksternal. Industri dapat dikatakan “tidak dapat berbuat apa-apa” selain “ikut saja” atas kenaikan harga energi. Meskipun demikian tetap terbuka kemungkinan atau peluang bagi industri untuk mempertahankan persentase biaya energi pada tingkat yang wajar tanpa menurunkan produktivitas dan kualitas produknya.

Lain halnya dengan hal yang kedua, yakni terjadi ketidakefisienan pada peralatan atau sistem yang dapat disebut sebagai faktor internal. Industri dapat berbuat “banyak” untuk mengurangi hingga ke tingkat maksimal ketidakefisienan tersebut.

Ketidakefisienan antara lain dapat direduksi dengan mengganti peralatan yang sudah tua, memperbaiki cara pengoperasian peralatan, atau melakukan modifikasi desain pabrik.

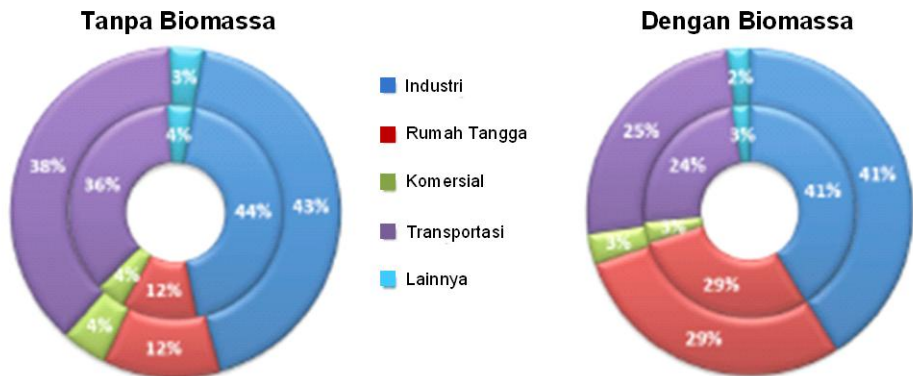
Hal-hal tersebut di atas akan relatif mudah dilaksanakan apabila di industri tersebut sudah diterapkan sistem manajemen energi. Sebagaimana sistem manajemen lainnya yang kita ketahui maka pada sistem manajemen energi juga diterapkan pendekatan (siklus) PDCA, yaitu *Plan - Do - Check - Action*. Melalui pendekatan ini maka proses pengubahan energi di pabrik senantiasa diikuti dengan seksama.

Kalangan industri di tanah air dewasa ini sudah mulai menerapkan sistem manajemen energi. Namun demikian tampaknya masih banyak yang belum berkesempatan untuk menerapkannya. Di sisi lain, pemerintah telah memberlakukan ketentuan penerapan (sistem) manajemen energi, khususnya bagi industri yang masuk kategori “besar”, yakni dengan konsumsi energi total 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun.

Naskah berikut mengulas aspek sistem manajemen energi di industri, termasuk langkah-langkah yang mesti dilakukan manakala melakukan audit energi pada sistem manajemen energi.

### 10.1. TINJAUAN UMUM

Dalam kurun waktu sepuluh tahun (2003-2013), konsumsi energi final di Indonesia mengalami peningkatan dari 79 MTOE (*million ton oil equivalent*) menjadi 134 MTOE, atau tumbuh rata rata sebesar 5,5% per tahun. Pada tahun 2013 kebutuhan total energi final sebesar 134 MTOE. Sektor industri merupakan pengguna energi terbesar dengan pangsa sebesar 47,4% (64 MTOE) yang didominasi oleh batubara, dan diikuti oleh sektor transportasi dengan pangsa 35% (47 MTOE) yang didominasi oleh BBM. Sedangkan sektor rumah tangga mencapai 10,3% (14 MTOE) didominasi oleh listrik. Untuk sektor komersial, penggunaan energinya mencapai 4,1% (6 MTOE) didominasi oleh listrik, dan sisanya dikonsumsi oleh sektor lainnya sebesar 3% (3 MTOE) <sup>[1]</sup>.



Gambar 10-1. Penggunaan energi final nasional per sektor tahun 2012.

Data penggunaan energi global di Industri terdiri atas:

- 40% penggunaan listrik
- 77% penggunaan batubara dan turunannya
- 37% penggunaan gas alam
- 1/3 dari emisi CO<sub>2</sub> secara global

Industri memiliki potensi untuk mengurangi intensitas energi dan emisinya sebesar 26 - 32%, yang berarti mengurangi 8 - 12% penggunaan energi total dan emisi CO<sub>2</sub> <sup>[2]</sup>. Manajemen energi adalah kunci untuk penghematan energi dalam suatu organisasi.

Bagaimana pentingnya penghematan energi berasal dari kebutuhan global. Kebutuhan global tersebut adalah:

- Mengurangi kerusakan yang kita lakukan untuk planet kita;
- Mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil yang semakin terbatas dalam pasokan.

Manajemen energi adalah sarana untuk mengontrol dan mengurangi konsumsi energi. Mengontrol dan mengurangi konsumsi energi pada suatu proses produksi adalah penting karena memungkinkan untuk:

- Mengurangi biaya. Hal ini menjadi semakin penting karena biaya energi meningkat;
- Mengurangi emisi karbon dan kerusakan lingkungan;
- Mengurangi risiko. Semakin banyak energi yang dikonsumsi, semakin besar risiko bahwa kenaikan harga energi atau kekurangan pasokan serius dapat mempengaruhi profitabilitas, atau bahkan membuat tidak mungkin bagi bisnis/ organisasi untuk melanjutkan kegiatannya. Dengan manajemen energi yang ada dapat mengurangi risiko ini dengan mengurangi permintaan untuk energi dan dengan mengendalikan itu sehingga membuatnya lebih mudah diprediksi.

### 10.1.1. Kebijakan Konservasi dan Manajemen Energi

Pemerintah menargetkan penurunan elastisitas konsumsi energi kurang dari satu melalui Kebijakan Energi Nasional tahun 2006. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai target tersebut adalah dengan penerapan sistem manajemen dan teknologi energi secara menyeluruh dan terintegrasi.

Untuk mendukung kebijakan pemerintah tersebut, perlu dilakukan usaha-usaha penghematan energi. Salah satu langkah penting dalam upaya penghematan energi di industri adalah melakukan audit energi.

Beberapa regulasi yang dikeluarkan pemerintah guna mengatasi permasalahan ketidakefisienan dalam pemanfaatan energi adalah:

- Undang-Undang RI No. 30 Tahun 2007 tentang Energi;
- Peraturan Pemerintah RI (PP) No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi;
- Peraturan Pemerintah RI No.79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional;
- Peraturan Menteri (Permen) ESDM No.14 Tahun 2013 tentang Manajemen Energi.

Pada PP No. 70 Tahun 2009 dan Permen ESDM No.14 tahun 2013 dinyatakan bahwa pengguna sumber energi dan pengguna energi yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun wajib melakukan konservasi energi melalui manajemen energi.

### **10.1.2. Definisi Manajemen Energi**

Manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi dan meminimalisasi konsumsi bahan baku dan bahan pendukung.

### **10.1.3. Definisi Audit Energi**

Audit energi menurut PP No. 70 tahun 2009 adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi.

### **10.1.4. Standar Acuan**

- ISO 50001 (2011): Sistem Manajemen Energi;
- Kepmen Tenaga Kerja No 80 Tahun 2015 tentang Penetapan Standard Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Jasa Profesional; Manajer Energi di Industri dan Bangunan Gedung;
- Peraturan Pemerintah No 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi;
- Peraturan Menteri ESDM NO.14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi.

### **10.1.5. Penerapan dan Prinsip-prinsip Penghematan Energi**

Sebelum membahas mengenai prinsip-prinsip penghematan energi, ada baiknya disajikan mengenai dasar-dasar fisika, kimia, dan listrik yang perlu diketahui terutama oleh seorang manajer energi.

#### **10.1.5.1. Dasar-dasar Istilah Energi**

Berikut adalah istilah praktis yang sering dijumpai pada pengelolaan energi di industri.

**a. Energi dan Daya**

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Satuan energi menurut Satuan Internasional (SI) adalah joule (J). Sedangkan satuan energi lain yaitu erg, kalori, dan kWh. Energi bersifat fleksibel, artinya dapat berpindah dan berubah.

Daya memiliki arti cukup spesifik, laju energi yang dihantarkan atau kerja yang dilakukan per satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam watt (W) atau kilowatt (kW), dan juga dinyatakan dalam satuan tenaga kuda (HP). Karena keduanya menyatakan besarnya daya, maka ada faktor konversi antara keduanya: 1 HP adalah sama dengan 0,746 kW.

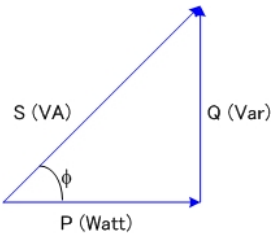
Tabel 10-1  
Kandungan energi beberapa bahan bakar.

Jenis Bahan Bakar	Nilai Kalor/kg	
	kJ	kWh
Gas Alam	4.900	1,3622
Batubara (antrasit)	3.100	0,8618
Batubara (bituminos)	3.200	0,8896
Minyak mentah	4.500	1,2510
Bensin	4.800	1,3344
Arang	3.400	0,9452
Kayu	1.800	0,5004
Hidrogen	14.200	3,9476

**b. Faktor Daya**

Faktor daya adalah istilah pada bidang energi listrik yang dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total.

Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.



Gambar 10-2. Grafik faktor daya.

### c. Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah cara mengelola dan menahan pertumbuhan konsumsi energi. Sesuatu yang lebih hemat energi jika memberikan layanan lebih untuk *input* energi yang sama, atau layanan yang sama untuk *input* energi kurang. Misalnya, ketika lampu neon kompak (CFL) menggunakan lebih sedikit energi (sepertiga untuk seperlima) dari lampu pijar untuk menghasilkan jumlah cahaya yang sama, CFL dianggap lebih hemat energi. Di masyarakat umum kadangkala efisiensi energi diartikan juga sebagai penghematan energi.

Contoh lain misalnya, isolasi rumah memungkinkan bangunan untuk menggunakan lebih sedikit pemanasan dan pendinginan energi untuk mencapai dan mempertahankan suhu yang nyaman.

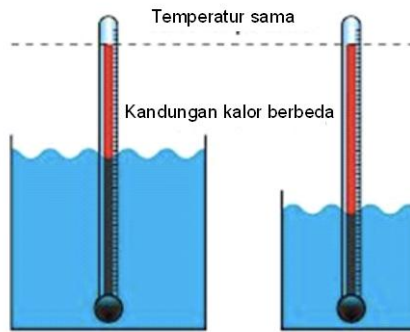
### d. Neraca Massa dan Energi

Neraca massa atau panas suatu sistem proses dalam industri merupakan perhitungan kuantitatif dari semua bahan-bahan yang masuk, yang keluar, yang terakumulasi (tersimpan), dan yang terbuang dalam sistem itu. Perhitungan neraca digunakan untuk mencari variabel proses yang belum diketahui, berdasarkan data variabel proses yang telah ditentukan/diketahui. Oleh karena itu, perlu disusun persamaan yang menghubungkan data variabel proses yang telah diketahui dengan variabel proses yang ingin dicari. Neraca energi adalah cabang keilmuan yang mempelajari kesetimbangan energi dalam sebuah sistem.

Neraca energi dibuat berdasarkan pada hukum pertama termodinamika. Hukum pertama ini menyatakan tentang kekekalan energi, yaitu energi tidak dapat dimusnahkan atau dibuat, hanya dapat diubah bentuknya. Perumusan dari neraca energi suatu sistem mirip dengan perumusan neraca massa. Dengan neraca energi maka dapat diketahui jumlah energi masuk dan keluar sistem sehingga dapat diketahui energi yang terakumulasi dan energi yang hilang.

### e. Kalor dan Temperatur

Kalor (*heat*) merupakan salah satu wujud dari energi. Aliran panas dapat dinyatakan dalam satuan energi (dalam kalori, atau satuan lainnya). Kita dapat mengukur, membeli, atau menggunakan kuantitas itu. Mesin pada contoh sebelumnya diproduksi dengan mengubah energi bahan bakar kimia. Sepuluh ton baja pada temperatur 300 °C mengandung dua kali lebih banyak kalor dibandingkan dengan 5 ton pada temperatur yang sama 300 °C.



Gambar 10-3. Perbedaan panas dan temperatur.

Penerapan prinsip-prinsip penghematan energi dilakukan melalui:

1. pengurangan rugi-rugi kehilangan energi;
2. peningkatan efisiensi peralatan pemanfaat energi; dan
3. pengurangan biaya energi.

#### 10.1.5.2. Mengurangi Rugi-rugi (Kehilangan) Energi

Pada proses pemanfaatan energi selalu terjadi proses konversi energi, dan setiap proses konversi energi akan terjadi kehilangan energi. Untuk meniadakan kehilangan energi (*energy losses*) adalah tidak mungkin dilakukan. Yang bisa dilakukan adalah mengoptimalkan pemanfaatan energi atau mengurangi rugi-rugi energi. Di dalam pengoperasian suatu peralatan, meminimumkan kehilangan energi dapat dilakukan dengan mengontrol parameter kritis yang paling berpengaruh terhadap kinerja energi.

#### 10.1.5.3. Meningkatkan Efisiensi Peralatan Pemanfaat Energi

Salah satu metode peningkatan efisiensi peralatan pemanfaatan energi yang lazim dilakukan di industri adalah dengan melakukan pemulihan energi terbuang, seperti panas yang terbuang dari reaktor yang terjadi secara eksotermis. Panas ini dapat diambil kembali untuk dimanfaatkan guna memasok kebutuhan panas yang ada di tempat lain.

Usaha lain untuk peningkatan efisiensi energi adalah dengan penerapan peralatan hemat energi. Peralatan hemat energi adalah peralatan yang mempunyai efisiensi yang tinggi, contoh: motor listrik hemat energi, lampu hemat energi, dan *chiller* hemat energi.

Sistem hemat energi adalah sistem pemanfaatan energi yang terdiri atas berbagai peralatan pengguna energi, yang penggunaan energinya efisien, contoh: AC sentral yang efisien, pembangkit listrik yang efisien, dan pabrik pupuk yang efisien.

Permasalahan yang sering terjadi adalah meskipun telah menggunakan peralatan

atau sistem yang efisien tetapi pengoperasian dan perawatan tidak tepat, sehingga pemborosan energi masih terjadi.

#### 10.1.5.4. Menurunkan Biaya Energi

Untuk menurunkan biaya energi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan:

- Mengimplementasikan program penghematan energi (tanpa biaya, berbiaya rendah, dan berbiaya tinggi);
- Melakukan substitusi bahan bakar mahal ke bahan bakar murah, misalnya perubahan bahan bakar boiler dari minyak ke gas, atau dari minyak ke batubara.

### 10.2. PRINSIP-PRINSIP MANAJEMEN ENERGI

Sistem Manajemen Energi (SME) adalah suatu proses yang sistematis untuk terus meningkatkan kinerja energi secara kontinyu. Sangat cocok untuk semua organisasi, apapun ukuran atau sektor, tetapi sangat bermanfaat untuk proses yang intensif menggunakan energi.

Peningkatan biaya energi akan membuat manajemen energi sebagai prioritas oleh *Facility Manager*. Beberapa teknologi penghematan energi telah tersedia contohnya, automasi sistem manajemen, akan tetapi penerapan teknologi semata tidak akan menjamin suksesnya program penghematan energi.

*Facility Manager* harus memperhatikan beberapa hal berikut ini sebagai metode pendekatan baru penerapan manajemen energi, di antaranya adalah:

- Tanpa mengetahui bagaimana, kapan, dan di mana energi yang digunakan, tidak ada cara untuk mengukur keberhasilan proyek manajemen energi. Mengidentifikasi dan melacak pola penggunaan energi adalah langkah pertama dalam program energi;
- Penghematan energi lebih besar diperoleh dengan hanya mengendalikan penggunaan sistem (misalnya, pencahayaan) daripada dengan memasang komponen yang lebih efisien (misalnya, lampu T-8 dan *ballast* elektronik);
- Program manajemen energi yang paling sukses ditemukan dalam fasilitas yang dikelola dan dipelihara dengan baik, tidak pada fasilitas dengan penerapan teknologi peralatan dalam jumlah yang besar;
- Praktek perawatan dan manajemen energi yang baik berjalan beriringan. Beberapa tingkat pengembalian modal investasi yang cepat pada proyek konservasi energi hanya dengan melakukan perawatan yang baik.

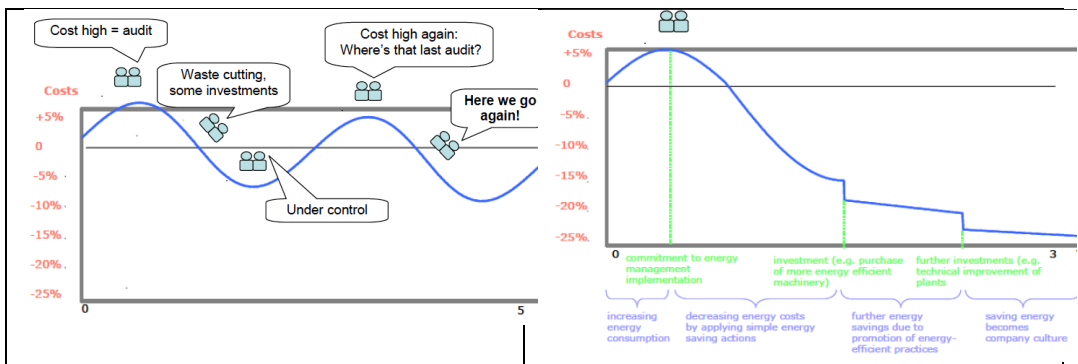
Menjalankan Sistem Manajemen Energi (SME) mengharuskan untuk:

- Mengembangkan dan menerapkan kebijakan energi;
- Mengidentifikasi pengguna energi utama;



- Menetapkan tujuan energi dan target terukur;
- Mengimplementasikan dan mengoperasikan program untuk memenuhi tujuan dan sasaran ini;
- Memeriksa dan mengambil tindakan korektif yang diperlukan;
- Meninjau sistem terus-menerus dan meningkatkan kinerja energi dari potensi yang ada.

Perbaikan terus-menerus, yang merupakan fitur kunci dari standar manajemen energi, memastikan bahwa tetap memperhatikan peluang baru yang muncul dan memanfaatkan semua potensi di mana penghematan energi dapat dicapai.



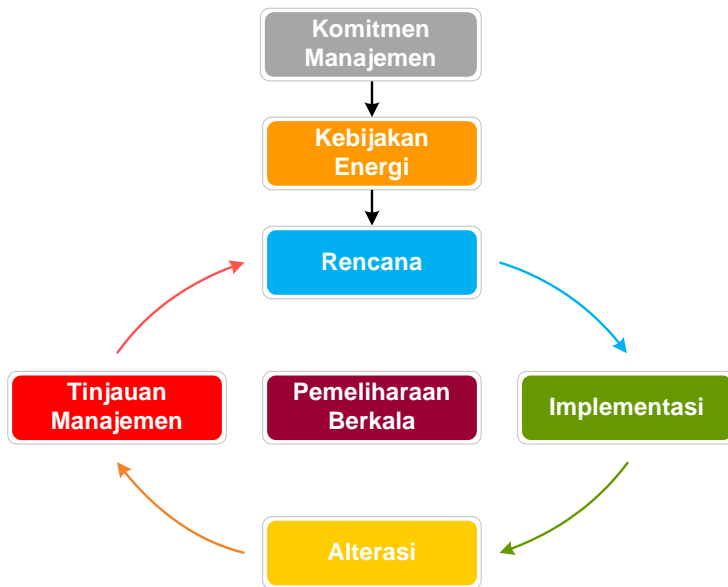
Gambar 10-4. Perbandingan penerapan manajemen energi sesaat dan kontinyu.

Banyak perusahaan enggan untuk fokus pada manajemen energi atau untuk berinvestasi dalam langkah-langkah efisiensi energi. Namun demikian, ada banyak contoh yang membuktikan bahwa pendekatan sistematis untuk mengelola energi dapat berhasil dikombinasikan dengan prioritas perusahaan. Hal ini berlaku untuk semua ukuran organisasi baik di sektor publik dan swasta. Dengan penerapan manajemen energi yang sistematis dan terus menerus maka akan didapatkan peningkatan kinerja energi yang kontinyu sedangkan jika manajemen energi dijalankan hanya ketika terjadi kenaikan biaya energi maka tidak akan didapatkan hasil perbaikan kinerja energi yang kontinyu.

Manfaat utama dari SME adalah:

1. penghematan biaya energi;
2. prioritas tanpa biaya dan hemat energi murah peluang untuk hari demi hari operasi;
3. mengurangi emisi gas rumah kaca;
4. mengurangi emisi karbon;
5. meningkatkan keamanan pasokan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar impor;
6. peningkatan kesadaran energi antara staf dan partisipasi yang lebih besar;

7. pengetahuan yang lebih besar dari penggunaan energi dan konsumsi, dan peluang untuk perbaikan;
8. menginformasikan proses pengambilan keputusan.



Gambar 10-5. Konsep Manajemen Energi.

Konsep pelaksanaan manajemen energi mengikuti konsep pendekatan PDCA: *Plan* (Rencanakan) - *Do* (Laksanakan) - *Check* (Cek) - *Act* (Tindakan). Konsep pendekatan ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 10-5 yang terdiri dari semua elemen utama, akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

Sebuah SME efektif memberikan kerangka proses dan prosedur praktis untuk memenuhi tujuan energi dari organisasi. Prinsip-prinsip utama dari SME yang penting untuk membangun dan mengoperasikan sistem yang efektif adalah di antaranya:

1. Komitmen Pimpinan Puncak;
2. Mengembangkan Kebijakan Energi yang Mencakup Kinerja Energi;
3. Menentukan Lingkup yang Disesuaikan dengan Proses yang Ada.

### 10.2.1. Komitmen Pimpinan Puncak

Komitmen manajemen senior sangat penting untuk sistem manajemen energi yang efektif. Manajemen energi tidak boleh hanya “tertempel” di operasi yang ada. Sebuah organisasi membutuhkan tujuan kinerja energi yang jelas dan harus mengalokasikan sumber daya yang cukup untuk melaksanakan dan mengelola sistem jika ingin berhasil. Mengkomunikasikan komitmen manajemen senior dan sumber daya yang telah ditetapkan menetapkan manajemen energi sebagai prioritas penting di semua tingkatan organisasi.

### **10.2.2. Mengembangkan Kebijakan Energi yang Mencakup Kinerja Energi**

Mengembangkan dan mengikuti kebijakan energi penting. Ini menunjukkan bahwa sebuah organisasi, termasuk manajemen senior, berkomitmen untuk meningkatkan kinerja energi.

Kebijakan dapat menjelaskan apa tujuan pengelolaan energi organisasi berada dan kerangka waktu di mana mereka diharapkan dapat tercapai. Hal ini sering dinyatakan sebagai pernyataan singkat yang dapat dengan cepat dan mudah dikomunikasikan di seluruh tingkatan organisasi.

Biasanya, kebijakan energi akan menyatakan bagaimana manajemen energi sejalan dengan tujuan perbaikan organisasi yang lebih luas dan menetapkan matriks sasaran untuk perbaikan. Sebagai contoh, kebijakan tersebut dapat mencakup pengurangan jumlah energi yang digunakan per unit produksi, dengan waktu tertentu untuk tujuan yang akan dicapai.

Kebijakan ini juga dapat mengatasi hubungan antara emisi karbon dan penggunaan energi, dan berangkat target pengurangan gas rumah kaca. Kebijakan tersebut juga harus menjelaskan bagaimana energi berhubungan dengan tujuan keberlanjutan yang lebih luas dan kebijakan organisasi.

Seperti halnya kebijakan bisnis, kebijakan energi harus diperbarui secara berkala dan kinerja terhadapnya secara berkelanjutan.

### **10.2.3. Menentukan Lingkup yang Disesuaikan dengan Proses yang Ada**

Setiap organisasi adalah unik, dan penting bahwa SME sejalan dengan prioritas bisnis yang ada dan sistem. Ini harus menjadi komponen kunci dari upaya perbaikan terus-menerus organisasi.

Sebuah SME dapat diimplementasikan pada tingkat yang berbeda dari sebuah organisasi, tergantung pada ukuran dan struktur bisnis. Hal ini dapat dikembangkan untuk seluruh organisasi, unit bisnis, fasilitas, atau bahkan proses individu atau kelompok fungsional. Sebagai contoh, organisasi yang memiliki struktur manajemen tunggal biasanya akan menerapkan SME tingkat atas tunggal. Perusahaan dengan beberapa unit usaha yang masing-masing dikelola secara mandiri dan memiliki sistem yang unik sering merasa lebih mudah untuk setiap unit untuk melaksanakan SME sendiri. Didahulukan ditetapkan oleh sistem manajemen lainnya, seperti kualitas atau lingkungan sistem, dapat digunakan sebagai panduan untuk menentukan mana SME harus duduk dalam organisasi.

Sebuah SME dapat mencakup proses dan prosedur untuk memastikan kepatuhan terhadap kebutuhan energi hukum dan kontrak, atau dapat disesuaikan untuk mengintegrasikan dengan sistem kepatuhan yang ada. Kinerja energi juga dapat dimasukkan ke dalam desain dan pengadaan praktek organisasi untuk produk baru,

fasilitas, peralatan, dan proses. Hal ini dapat mencakup bagaimana sumber energi diidentifikasi dan diperoleh serta bagaimana kinerja energi produk pemasok yang dianggap selama pengadaan.

Pertimbangan *scoping* lain adalah jangka waktu yang relevan dari SME. Menentukan tujuan dan kegiatan SME dalam jangka pendek, menengah, atau panjang terikat waktu dapat mempengaruhi banyak aspek dari SME, seperti alokasi sumber daya dan kriteria pengambilan keputusan.

### 10.3. PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN ENERGI

#### 10.3.1. Persyaratan Umum

Standar sistem manajemen energi menekankan bahwa organisasi perlu untuk membangun, mendokumentasikan, menerapkan, dan meningkatkan SME. Organisasi harus menetapkan dan mendokumentasikan ruang lingkup dan batas-batas SME serta bagaimana untuk mencapai peningkatan berkelanjutan dari kinerja energi dan SME.

Sebelum mengembangkan/menerapkan SME, organisasi harus menentukan ruang lingkup dan batas-batas sistem manajemen energi. Ruang lingkup mengacu pada sejauh mana kegiatan, fasilitas, dan keputusan yang membahas organisasi melalui SME, yang dapat mencakup beberapa batas. Batas-batas didefinisikan sebagai batas fisik atau lokasi dan/atau batas organisasi seperti didefinisikan oleh organisasi yang bisa menjadi proses, sekelompok proses, sebuah situs, seluruh organisasi, dan beberapa situs di bawah kendali organisasi.

Contoh penentuan batas ruang lingkup misalnya pada satu industri pupuk yang terdiri dari proses pembuatan amoniak dan urea, di mana organisasi menentukan batas pelaksanaan sistem manajemen energi hanya pada pabrik (*plant*) amoniak saja. Atau contoh penentuan batas ruang lingkup lainnya adalah jika pada suatu proses industri tekstil menentukan penerapan sistem manajemen energi pada batas ruang lingkup sistem utilitasnya saja.

#### 10.3.2. Tanggung Jawab Manajemen

Salah satu faktor keberhasilan penerapan sistem manajemen energi adalah adanya komitmen manajemen puncak terhadap pelaksanaan SME. Tanpa adanya komitmen tersebut maka bisa dipastikan bahwa SME tidak akan berjalan. Baik standar internasional maupun standar nasional menekankan adanya dukungan penuh dari manajer senior yang mempunyai komitmen untuk memfasilitasi efisiensi energi pada organisasi/perusahaannya. Selain memberikan dukungan umum, manajemen puncak harus menyediakan sumber daya yang diperlukan, seperti waktu, tenaga, keuangan, bahan, dan lain-lainnya untuk pelaksanaan SME yang efektif. Komitmen manajemen puncak sangat penting untuk keberhasilan pelaksanaan SME. Hal ini harus dikomunikasikan ke seluruh organisasi untuk mendorong partisipasi aktif dari semua anggota staf untuk berpegang pada SME.



- Kepatuhan dengan peraturan yang relevan dan persyaratan lain yang berkaitan dengan penggunaan energi, konsumsi, dan efisiensi.

#### Contoh Kebijakan Energi

Kami, PT “ABC” berkomitmen untuk melaksanakan semua operasi dengan tanggungjawab terhadap lingkungan termasuk penggunaan energi. Kami akan terus-menerus memperbaiki kinerja energi. Kami melihat hubungan yang kuat kegiatan ini dengan tujuan kami mengurangi biaya operasi.

Kami akan mencapai perbaikan dalam kinerja melalui pelaksanaan sistem manajemen energi, termasuk:

- Kami akan mengembangkan tujuan dan target untuk mendukung perbaikan terus menerus tentang bagaimana kami menggunakan energi;
- Kami akan menyediakan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan dan target manajemen energi;
- Kami akan memastikan semua karyawan yang kegiatannya mempengaruhi penggunaan energi kami, mendapat pelatihan yang memadai;
- Kami akan mengembangkan program untuk menunjukkan kinerja energi kami;
- Kami akan membeli produk dan layanan hemat energi yang layak secara ekonomis;
- Setiap proyek baru akan dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan kajian energi untuk memastikan proyek tersebut menggunakan serendah mungkin energi yang layak secara teknologi dan ekonomi.

Kami akan memenuhi seluruh peraturan legal dan persyaratan lain yang berhubungan dengan penggunaan energi.

Kebijakan ini akan diperbaharui secara rutin untuk memastikan komitmen kami pada manajemen energi yang baik.

Kebijakan ini akan dikomunikasikan ke seluruh karyawan PT “ABC”.

Tanggal\_\_\_\_\_dibuat di\_\_\_\_\_

Dewan Eksekutif PT “ABC”

Nama :

Nama :

Posisi :

Posisi :

#### 10.3.4. Perencanaan Energi

Tahap perencanaan energi terdiri atas beberapa tahapan, yaitu: pemenuhan terhadap legal dan peraturan lainnya, tinjauan energi, penyusunan *baseline*, menetapkan indikator kinerja energi, menentukan tujuan, dan target serta penyusunan rencana tindak.

#### 10.3.4.1. Legal dan Peraturan Lainnya

Unsur persyaratan hukum dan lainnya dalam SME dimaksudkan untuk memastikan bahwa organisasi telah memenuhi Undang-Undang yang berlaku dan persyaratan lain yang berkaitan dengan penggunaan, konsumsi, dan efisiensi energi. Persyaratan hukum termasuk persyaratan hukum pemerintah internasional, nasional, regional dan lokal yang berlaku untuk penggunaan energi suatu organisasi. Persyaratan lain mengacu pada kebutuhan pelanggan, kode industri, pedoman pemerintah, program sukarela, komitmen publik dari organisasi atau organisasi induknya, dan persyaratan asosiasi perdagangan dan lain-lain.

Identifikasi persyaratan hukum dan lainnya yang berlaku untuk penggunaan, konsumsi, dan efisiensi energi biasanya ditunjukkan melalui pembentukan sebuah daftar persyaratan hukum dan peraturan lainnya yang berlaku. Setelah diidentifikasi, organisasi perlu memastikan bahwa telah menerapkan tindakan untuk memenuhi persyaratan ini. Selain itu, organisasi harus tetap mengikuti peraturan baru atau revisi yang terkait dengan penggunaan energi. Setelah evaluasi selesai dan dampak perubahan dipahami, organisasi harus menerapkan tindakan untuk memastikan kepatuhan dengan persyaratan baru atau berubah. Ini bisa termasuk pelatihan tambahan, pengendalian operasional, pelaporan, dan lain-lain, tergantung pada sifat dari persyaratan baru atau persyaratan perubahan tersebut.

Kebijakan dan regulasi nasional yang berkaitan dengan energi dan konservasi energi adalah Undang-Undang No.30 tahun 2007 tentang Energi, yang di dalamnya antara lain mengatur bahwa:

- Pemerintah dan/atau pemerintah daerah berkewajiban menyediakan energi melalui diversifikasi, konservasi, dan intensifikasi sumber energi dan energi;
- konservasi energi nasional menjadi tanggungjawab pemerintah, pemerintah daerah, pengusaha dan Masyarakat.

Sedangkan untuk pelaksanaan konservasi energi nasional mengacu pada Peraturan Pemerintah No 70 tahun 2009 tentang Konservasi Energi di dalamnya mengatur antara lain:

- Mewajibkan pengguna energi > 6.000 TOE per tahun untuk menerapkan manajemen energi, antara lain: menunjuk manajer energi, menyusun program konservasi energi, melaksanakan audit energi secara berkala, melaksanakan rekomendasi hasil audit energi, melaporkan pelaksanaan konservasi energi kepada Pemerintah;
- Pelaksanaan manajemen energi selanjutnya diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 14 tahun 2012.

#### 10.3.4.2. Tinjauan Energi

Organisasi harus mengembangkan, mencatat dan memelihara hasil tinjauan energi dengan metodologi dan kriteria tertentu. Tinjauan energi adalah proses untuk menentukan kinerja energi organisasi berdasarkan data dan / atau pengukuran yang

sebenarnya, yang mengarah ke identifikasi peluang untuk perbaikan. Ulasan ini menyediakan informasi yang berguna untuk pengembangan baseline energi dan pemilihan indikator kinerja energi (EnPIs). Tahapan ini juga menetapkan kemampuan monitoring untuk mendukung perbaikan SME yang efektif dan terus-menerus di masa depan.

Pada tahapan ini diidentifikasi perlunya audit energi pada perusahaan tersebut. Untuk industri dengan penggunaan energi lebih besar dari 6000 setara ton minyak (*ton oil equivalent*) berdasarkan regulasi nasional pemerintah RI maka diwajibkan melakukan audit energi secara periodik minimum setiap 3 tahun sekali.

Audit energi sangat membantu dalam membuat tinjauan dan analisis penggunaan energi, menyusun *baseline*, mengidentifikasi potensi penghematan energi, dan merekomendasikan rencana tindak yang harus diambil untuk mencapai target penghematan energi.

Tinjauan energi pada penerapan SME dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap beberapa hal berikut ini:

- Jenis sumber energi dan jumlah energi yang digunakan (listrik, gas alam, propana, dan lain-lain);
- Fasilitas dan peralatan apa saja yang menggunakan energi;
- Data apa saja yang dimiliki dan bagaimana cara mendapatkannya;
- Data apa saja yang dibutuhkan dan bagaimana mendapatkannya;
- Penggunaan energi masa lalu, sekarang, dan prediksinya ke depan;
- *Trend* penggunaan energi;
- Melakukan *benchmarking*.

Sumber energi yang digunakan dalam satu organisasi dapat digambarkan dalam satu diagram:



Dalam melakukan tinjauan energi, beberapa kendala yang sering dihadapi antara lain adalah:

- Keterbatasan ketersediaan data;
- Data tersedia tetapi terdapat perbedaan rentang waktu pengumpulannya antara data energi dan data produksi;
- Tidak tersedianya *metering*/alat ukur.

Setelah data berhasil dikumpulkan, maka dilakukan analisis untuk mengetahui penggunaan energi pada masa lampau, sekarang dan yang akan datang. Metode analisis yang biasa digunakan adalah dengan:

- Analisis *trend* sederhana;

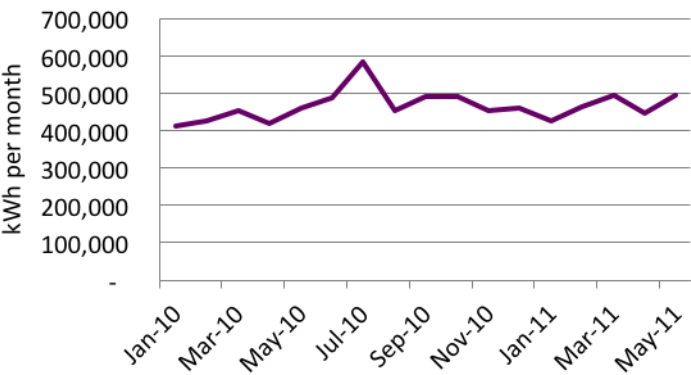


- *Trend* tahunan;
- Analisis *trend* rata-rata unit harga;
- Analisis *trend* penggunaan energi tahunan terhadap target.

Tabel 10-2  
Contoh data energi.

Bulan	Listrik	
	[kWh/bulan]	Biaya/bulan, [Rupiah]
Jan-10	407.933	701.911.206
Feb-10	423.000	681.966.357
Mar-10	451.242	788.449.223
Apr-10	414.584	741.556.901
May-10	457.326	808.237.223
Jun-10	484.688	867.054.725
Jul-10	580.617	909.982.050
Aug-10	450.234	550.068.570
Sep-10	487.311	885.008.115
Oct-10	488.652	871.377.821
Nov-10	448.820	841.987.112
Dec-10	457.045	625.169.705
Jan-11	423.900	667.216.877
Feb-11	459.234	747.307.643
Mar-11	490.894	788.947.415
Apr-11	442.668	833.859.627
May-11	490.201	919.833.395

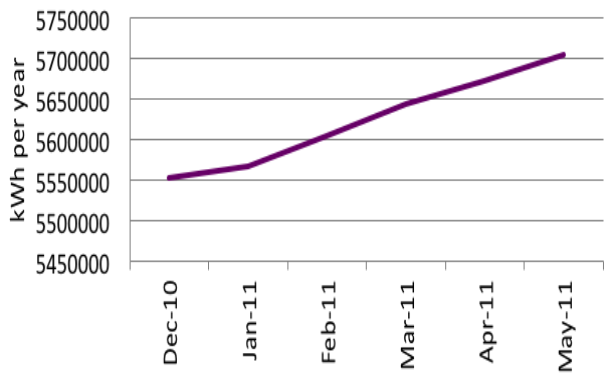
Maka *trend* sederhana untuk data konsumsi listrik/bulan adalah ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 10-7. Analisis trend Konsumsi Energi sederhana.

Dari *trend* data tersebut terlihat konsumsi energi listrik yang berfluktuasi dari bulan Januari 2010 sampai dengan Mei 2011.

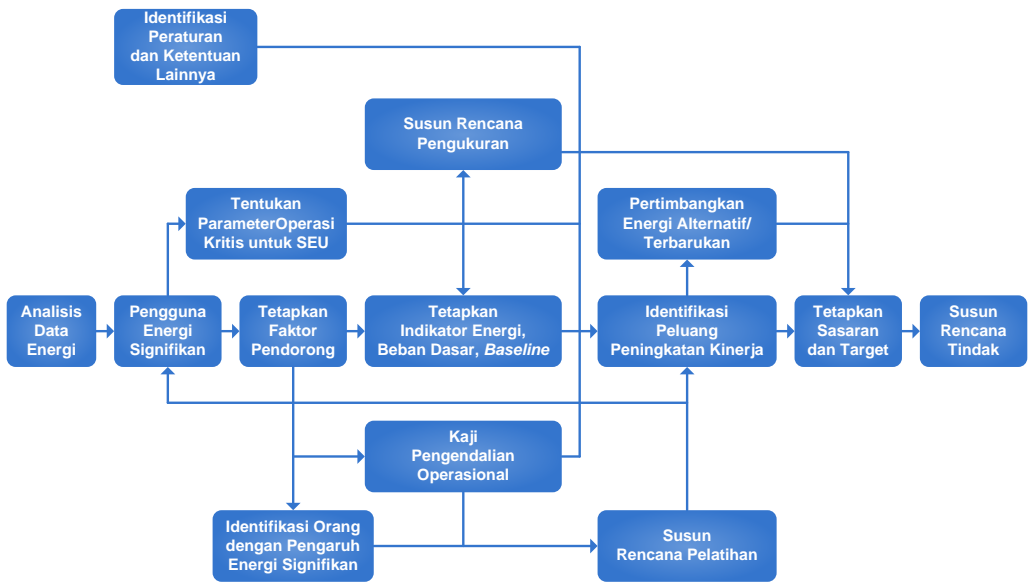
Untuk menghilangkan efek musiman pada data tersebut, maka analisis data dapat dilakukan dengan analisis *trend* tahunan (*annualized trend*). Jika dilakukan analisis *trend* tahunan maka akan menjadi seperti pada Gambar 10-8.



Gambar 10-8. Analisis *trend* tahunan (*annualized trend analysis*).

Tujuan dari langkah pada tahapan perencanaan energi adalah untuk mengkaji bagaimana suatu organisasi menggunakan energinya. Organisasi akan mengukur peningkatan kinerja dan mengidentifikasi peluang pengurangan penggunaan energinya melalui kombinasi dari perbaikan dalam *house keeping*, proyek-proyek teknis, pelatihan, dan cara lainnya. Proses ini disebut tinjauan energi/*review* energi.

Tahapan dalam perencanaan energi mulai dari analisis penggunaan energi sampai dengan penyusunan rencana tindak disajikan pada Gambar 10-9.



Gambar 10-9. Tahapan perencanaan energi pada penerapan sistem manajemen energi.

#### 10.3.4.3. Menentukan Pengguna Energi Signifikan (*Significant Energy Use - SEU*)

Menentukan pengguna energi signifikan (SeU) merupakan tahapan dalam perencanaan energi. Beberapa kata kunci dalam penentuan SeU adalah apa saja yang termasuk SeU, parameter pendorong (*driver*) apa pada SeU tersebut dan siapa yang mempengaruhi penggunaan energi tersebut (operator, *maintenance*, dll).

Tahapan dalam menentukan SeU adalah:

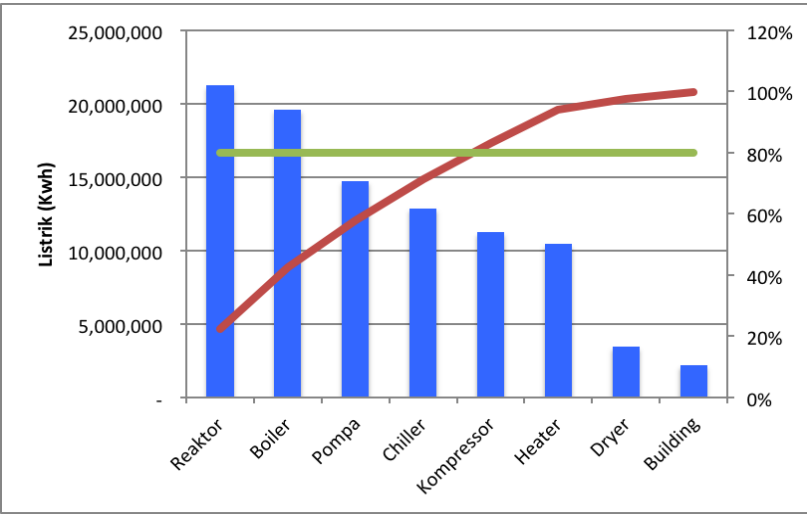
- Mengidentifikasi fasilitas, bagian, atau proses yang menggunakan energi secara signifikan
- Menghitung penggunaan energi dengan membuat neraca masa dan energi, tabulasi, dan diagram Sankey
- Mengidentifikasi SeU dengan total penggunaan energi sekitar 80% dari total penggunaan energi di organisasi/plan

Penentuan SeU dapat dilakukan dengan beberapa cara diantara adalah dengan:

- membuat neraca energi untuk mengidentifikasi penggunaan energi pada peralatan atau proses
- membuat peringkat penggunaan energi pada plan dengan teknik; neraca energi, metoda ranking, dan teknik analisis data lainnya

Identifikasi SeU dengan metode peringkat, dapat secara mudah ditampilkan pada grafik. Penggunaan energi pada setiap peralatan/bagian proses di tampilkan beserta

dengan prosentase penggunaannya terhadap total. Kemudian diidentifikasi total pengguna energi kumulatif hingga sebesar minimal 80% dari total konsumsi energi di plant, untuk dipilih sebagai SeU plant tersebut.



Gambar 10-10.. Contoh identifikasi SeU dengan metode grafik.

Gambar 10-10 menunjukkan contoh mengidentifikasi pengguna energi yang signifikan (SeU) pada suatu industri. Dengan cara tersebut diketahui bahwa jumlah total penggunaan energi 80% dari total adalah pada lima peralatan terbesar yaitu ; reactor, utilitas, WWTP, pompa air laut dan incenerator. Oleh karena itu maka SeU pada industri tersebut difokuskan pada 5 peralatan pengguna energi terbesar tersebut.

Metode lain untuk menentukan SeU adalah tidak hanya dengan peringkat penggunaan energinya tetapi dengan memberikan *score* terhadap potensi penghematan energinya seperti contoh berikut (Tabel 10-3).

Tabel 10-3  
Metode pemberian skor SeU

Kriteria	Penilaian ( <i>Scoring</i> )			
	1	2	3	4
Persentase penggunaan energi	0 - 10%	11 - 25%	26 - 50%	51-100%
Estimasi potensi penghematan [Rp/tahun]	< 100 Jt	100 - 500 Jt	500 Jt - 5 M	> 5 M

Sehingga penentuan peringkat SeU menjadi seperti pada Tabel 10-4.

Tabel 10-4  
Penentuan peringkat SeU berdasarkan matrik skor.

Proses/ Peralatan	Penilaian		
	Persentase Penggunaan Energi	Potensi Penghematan Energi	Total Nilai
Reaktor	2	2	4
Boiler	2	3	6
Pompa	2	1	2
Chiller	2	3	6
Kompresor	2	1	2
Heater	2	1	2
Dryer	1	3	3
Building	1	1	1

Setelah SeU ditentukan, maka kemudian dibuat daftar tabel SeU seperti tampak pada Tabel 10-5.

Tabel 10-5  
Tabel daftar *Significant Energy Use* (SeU)

No	SeU	<i>Driver/</i> Faktor Pendorong	Konsumsi Energi (%)	Siapa yang mempengaruhi pengg. energi
1	Reaktor	Produksi	22%	Operator Produksi
2	Boiler	Produksi	20%	Supv.Utilitas
3	Pompa	Produksi	15%	<i>Maintenance</i>
4	Chiller	Produksi dan cuaca	13%	Supv.Utilitas
5	Kompresor	Kebocoran	12%	Supv.Utilitas

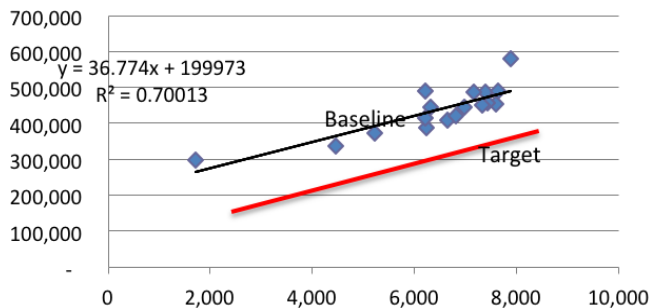
Pada Tabel 10-5 terdapat istilah faktor pendorong/*driver* untuk masing-masing SEU. Faktor pendorong adalah didefinisikan sebagai variabel yang paling kuat mempengaruhi penggunaan energi pada masing-masing SEU tersebut. Pada tabel tersebut juga dicantumkan personel yang berperan dalam mempengaruhi penggunaan energi pada masing-masing SEU.

Setelah SEU ditetapkan, maka tahapan selanjutnya adalah menetapkan kinerja energi/*Energy Performance Indicator* (EnPi) masing-masing SeU. Tujuan menetapkan EnPi adalah untuk mengukur kinerja dari masing-masing SeU, untuk mengukur capaian target yang telah ditetapkan dan untuk mengukur apabila terjadi perbaikan kinerja energi. Penentuan EnPi tergantung dari kompleksitas sistem. Contoh beberapa EnPi adalah di antaranya:

- Konsumsi energi per satuan waktu
- Konsumsi energi spesifik (kWh/ton produk)
- Efisiensi (energi termanfaatkan dibagi dengan energi masuk)

- *Coefficient of Performance (COP)*
- Hasil analisa regresi statistik
- Analisis kumulatif SUM

Menentukan *baseline* dengan Analisis Regresi Linear dengan variabel tunggal dapat dilakukan seperti contoh berikut ini:



Gambar 10-11. Menentukan *baseline* dengan regresi linear.

Hasil regresi linear tersebut didapatkan garis dengan persamaan:

$$Y = 36,774 X + 1.999.973 \text{ dengan } R^2 = 0,70$$

Persamaan hasil regresi tersebut dapat juga dijadikan *baseline* untuk menentukan besaran target.

#### 10.3.4.4. Mengukur Kinerja Energi Terhadap *Base-Line*

*Baseline* didefinisikan sebagai data penggunaan energi dari organisasi pada periode tertentu yang tepat sebagai referensi/pembandingan dalam mengevaluasi kinerja energi. Data tersebut juga memperhitungkan berbagai variable yang mempengaruhinya antara lain seperti: iklim, cuaca, siklus dari aktifitas bisnis organisasi, dll. Sedangkan definisi *baseload* adalah energi yang dikonsumsi saat tidak ada aktifitas produksi. Besarnya baseload dari persamaan tersebut adalah sebesar 1.999.973 kWh.

Untuk mengetahui kinerja energi maka dilakukan pengukuran kinerja tersebut dengan membandingkan dengan *baseline*. *Baseline* diambil pada periode waktu tertentu (base year) dan batasan tertentu.

*Baseline* energi tersebut direkam/di dokumentasikan sebagai bagian dari dokumentasi SME. Perubahan *baseline* dimungkinkan untuk dilakukan jika terjadi satu atau beberapa kondisi seperti:

- ✓ Indikator kinerja energi (EnPi) tidak lagi mencerminkan penggunaan dan konsumsi energi perusahaan
- ✓ Terdapat perubahan yang signifikan pada proses, operasi dan system energi yang mempengaruhi konsumsi energi

#### 10.3.4.5. Identifikasi Potensi Penghematan Energi

Untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi yang ada pada sebuah perusahaan dapat dilakukan dengan pendekatan:

- Memeriksa seluruh sistem bukan komponen individual
- Menetapkan persyaratan dan spesifikasi dari pengguna
- Memeriksa peluang dari pengguna, distribusi energi
- Memeriksa peluang dari sisi pembangkitan energi

Setelah memeriksa semua peluang potensi penghematan energi kemudian melakukan tabulasi terhadap semua peluang yang ada untuk mempermudah dalam menentukan prioritas. Kemudian dilakukan penyusunan rencana dan pengendalian implementasinya

Tabel 10-6  
Daftar Potensi Penghematan Energi.

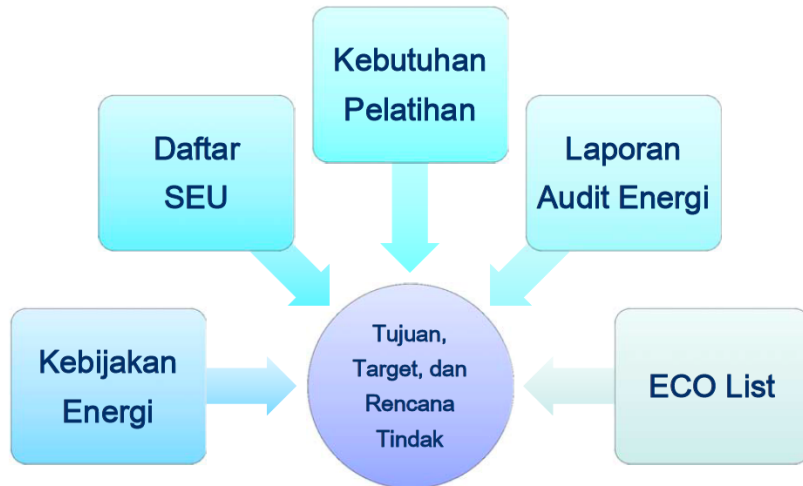
No	Potensi Penghematan	Service	Investasi (US\$)	Payback Period (tahun)	Potensi Penghematan (US\$)	Penanggung Jawab	Ket.
1	VSD pada Boiler Fan	Steam	5000	1,4	3500	Utility Man	perlu service company
2	Penggantian Lampu di Gudang	Lighting	3000	2	1500	Maint. Man.	Menunggu approval
3	Training operator Refrigerator	Mngmt	1000	0,1	10000	HRD	Persiapan
4	Penurunan tekanan condenser chiller	Refrig.	0	-	4500	Production Man.	Verifikasi
5	Training Cleaning Service	Mngmt.	300	0,3	1000	HRD	Persiapan

#### 10.3.4.6. Menentukan Tujuan, Target, dan Rencana Tindak (Action Plan)

Tahapan selanjutnya pada perencanaan energi adalah menentukan tujuan, target dan rencana tindak. Tujuan energi harus didokumentasikan sedangkan target harus ditetapkan untuk memastikan kepatuhan dengan kebijakan energi organisasi, dan untuk memfasilitasi perbaikan berkelanjutan dalam kinerja energi. Tujuan harus menyatakan apa yang ingin dicapai oleh organisasi; sementara target menentukan bagaimana organisasi akan mencapai tujuan mereka. Tujuan dan sasaran harus praktis, dapat dicapai dan terukur, dan harus sesuai dengan tujuan bisnis organisasi dan sebaiknya memberikan beberapa tantangan untuk organisasi

Penentuan tujuan, target dan rencana tindak tersebut adalah sebagai tindak lanjut setelah melakukan beberapa tahapan dalam perencanaan energi seperti : penyusunan kebijakan energi, membuat daftar SeU, menginventarisasi kebutuhan

pelatihan, melakukan audit energi dan mendata potensi penghematan energi yang ada, seperti pada blok diagram Gambar 10-12.



Gambar 10-12. Menentukan tujuan, target, dan rencana tindak.

Dalam menentukan target beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Menuliskan target secara spesifik dengan menuliskan dalam kalimat aktif
- Target harus memiliki batas waktu
- Target harus bisa terukur
- Target harus rasional
- Target harus memungkinkan untuk dicapai (achievable)

Keterkaitan antara tujuan, target dan rencana tindak adalah sebagai berikut: Tujuan biasanya dalam jangka panjang, spesifik dan konsisten dengan kebijakan. Sedangkan target mempunyai ciri-ciri spesifik, dapat terukur dan tercapai, relevan dan mendukung tujuan. Rencana tindak adalah harus menyatakan apa, dikerjakan oleh siapa, kapan, apakah terlaksana dengan baik.

Contoh Tujuan : Mengurangi konsumsi listrik sebesar 10% dengan cara ;

Contoh Target : meningkatkan tingkat recovery kondensat hingga 90%

#### 10.3.4.7. Mengembangkan Rencana Tindak

Dalam mengembangkan rencana aksi maka yang pertama dilakukan adalah menyusun daftar rencana aksi berdasarkan prioritas penghematan energi. Setelah itu menentukan rentang waktu rencana aksi berdasarkan target penghematan energi. Poin selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menentukan sumberdaya untuk rencana aksi yang berupa personnel pelaksana dan dana yang diperlukan. Semua kegiatan dalam pengembangan rencana aksi tersebut harus terdokumentasi.



Contoh pengembangan rencana aksi:

- **Tujuan:** mengurangi penggunaan gas alam PT.XXX sebesar 15% pada tahun 2014
- **Target:** mengurangi penggunaan gas alam di unit Furnace sebesar 25% pada tahun 2014
- **Tindakan:** memasang preheater pada udara yang akan masuk Furnace
- **Pelaksana:**
  - ✓ Desain -departemen mekanik
  - ✓ Instalasi -kontraktor
  - ✓ Pengetesan -departemen mekanik dan perawatan
  - ✓ Verifikasi hasil -departemen mekanik
- **Jadwal Pelaksanaan**

Tindakan	Minggu ke								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Desain									
Instalasi									
Pengetesan									
Verifikasi									

### 10.3.5. Melaksanakan Rencana Manajemen Energi

#### 10.3.5.1. Kompetensi, Pelatihan (*Training*), dan Kepedulian (*Awareness*)

Kompetensi mengacu pada orang-orang yang memiliki keterampilan yang dibutuhkan, pengetahuan, kualifikasi, dan kapasitas untuk melakukan tugas mereka yang secara signifikan dapat mempengaruhi penggunaan energi atau pelaksanaan SME. Hal ini biasanya dinilai berdasarkan kombinasi pendidikan, pelatihan, keterampilan dan pengalaman dari orang yang relevan. Tenaga kerja yang kompeten sangat penting dalam melaksanakan SME organisasi dan mencapai peningkatan kinerja energi. Pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk melaksanakan SME, memastikan kontrol dari penggunaan energi yang signifikan dan mencapai tujuan energi dan target harus diatasi. Untuk SDM yang terkait dengan SEU harus dipastikan bahwa semua memiliki kompetensi yang diperlukan, jika masih belum memadai maka perlu dilakukan identifikasi kebutuhan pelatihan/training yang diperlukan untuk mengendalikan SEU.

Pada dasarnya, pelatihan yang tepat harus diberikan kepada semua personil yang relevan. Pelatihan ini harus mencakup konsep umum manajemen energi serta pelatihan keterampilan (biasanya on-the-job) untuk memungkinkan personil untuk melaksanakan tugas mereka dengan kesadaran tentang dampak kegiatan mereka dapat memiliki pada kinerja energi. Tingkat dan level pelatihan bervariasi sesuai dengan fungsi pekerjaan. Misalnya, pelatihan kesadaran energi umum harus disediakan untuk semua karyawan; dan pelatihan audit energi harus disediakan bagi

mereka yang bertanggung jawab pada profil energi.

Dalam hal menumbuhkan kesadaran penghematan energi, maka organisasi harus memastikan bahwa personnel yang bekerja pada organisasi tersebut memiliki kesadaran terhadap beberapa hal berikut ini:

- 1) Kebijakan energi
- 2) Prosedur
- 3) Peran, tanggung jawab dan otoritas
- 4) Manfaat meningkatkan kinerja energi
- 5) Dampak aktual atau potensial, sehubungan dengan penggunaan energi dan konsumsi,
- 6) Bagaimana tindakan mereka berkontribusi terhadap pencapaian tujuan dan target kinerja energi

#### **10.3.5.2. Komunikasi**

komunikasi yang dilakukan dapat dibedakan menjadi 2 yaitu komunikasi internal dan eksternal. Yang dimaksud komunikasi internal adalah komunikasi didalam organisasi itu sendiri yang meliputi komunikasi antara level yang berbeda didalam organisasi, departemen ataupun shift. Jenis komunikasi bisa menggunakan media email, intranet, bulletin, layar monitor dll. Sedangkan komunikasi eksternal adalah komunikasi yang dilakukan keluar fasilitas organisasi seperti komunikasi dengan regulator, anggota komunitas , media, yang menggunakan media seperti pertemuan-pertemuan, surat kabar, televisi, dll.

Kendala yang dihadapi dalam komunikasi adalah adanya kebiasaan yang mengacuhkan terhadap mekanisme yang selama ini sudah ada, terlambat atau tidak memberikan feedback , tidak melibatkan personnel lain didalam organisasi pada proses pengusulan.

#### **10.3.5.3. Dokumentasi**

Dokumentasi dalam sistem manajemen akan membantu dalam kedua pelaksanaan SME dan mempromosikan pemahaman implementasi sistem. Dokumentasi membantu organisasi mengkomunikasikan maksud dan memastikan bahwa kegiatan yang berhubungan dengan energi dilakukan secara konsisten sesuai dengan persyaratan. Dokumentasi memberikan informasi dan bukti-bukti pendukung untuk menunjukkan efektivitas dan efisiensi SME dalam bentuk file elektronik atau salinan kertas.

Menurut standar ISO 50001, organisasi dituntut untuk mendokumentasikan informasi yang menggambarkan unsur-unsur inti SME mereka. Secara singkat, berikut yang harus didokumentasikan dalam SME yaitu:

- Ruang lingkup dan batasan sistem;
- Kebijakan energi;
- Proses perencanaan energi termasuk metodologi dan kriteria yang digunakan untuk mengembangkan energi review, baseline energi dan metodologi untuk menentukan baseline dan memperbarui indikator kinerja energi (EnPi);

- Tujuan, sasaran dan rencana aksi; dan
- Keputusan apakah untuk berkomunikasi secara eksternal tentang informasi dari kinerja energi.

#### 10.3.5.4. Kontrol Operasi

Kontrol operasi merupakan elemen yang kritis pada SME untuk melakukan penghematan energi. Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai kontrol operasi yang efektif adalah dilakukan dengan :

- Menentukan dan menyusun kriteria perawatan dan operasi
- Mengkomunikasikan kontrol operasi
- Mengoperasikan sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, seperti contohnya; temperature, tekanan, waktu tinggal, kelembaban, pH, dll. Sedangkan penentuan kriteria tersebut dapat bersumber dari:
  - Rekomendasi pabrikan
  - Manual operasi system
  - Setting operasi yang disarankan bagian service
  - Saran dari ahli-ahli internal
  - Panduan dari ahli system energi
  - Benchmarking dari peralatan sejenis

Pelaksanaan SME tergantung pada pembentukan dan pemeliharaan prosedur dan pengendalian operasional untuk memastikan bahwa penggunaan energi yang signifikan (SEU) terkendali dan kebijakan, tujuan dan sasaran yang terpenuhi. Organisasi harus mempertimbangkan operasi yang berbeda dan kegiatan yang berkontribusi untuk penggunaan energi yang signifikan, dan membangun / mengkonfirmasi dan menerapkan prosedur pengendalian yang diperlukan

Untuk mengidentifikasi pengendalian operasional, organisasi harus secara sistematis meninjau semua pengguna energi yang signifikan (SEU) untuk mengidentifikasi yang belum terkontrol atau di mana kontrol yang ada mungkin tidak memadai, dan kemudian memastikan bahwa prosedur pengendalian terdapat pada semua area.

#### 10.3.5.5. Desain

Pada standard ISO 50001 menyatakan bahwa organisasi harus mempertimbangkan peluang peningkatan kinerja energi dan pengendalian operasional dalam desain fasilitas, peralatan, sistem dan proses yang dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja energi

Persyaratan ini berlaku untuk desain baru, maupun modifikasi peralatan, sistem dan proses yang dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja energi.

#### 10.3.5.6. Pengadaan Jasa, Produk, Peralatan, dan Energi

Pada penerapan SME, proses pengadaan jasa, produk, peralatan dan energi pada industri sering berperan pada kinerja energi. Untuk itu perlu dikomunikasikan kepada vendor/supplier bahwa industri telah menerapkan SME sehingga diterapkan kajian terhadap dampak konsumsi energi pada jasa/barang/energi yang dipasok. Kemudian organisasi/industri juga harus memastikan bahwa dampak pengadaan tersebut terhadap kinerja energi dapat dievaluasi. Salah satu metode yang dianggap sesuai untuk evaluasi pengadaan barang terhadap kinerja energi adalah dengan menggunakan *life cycle cost analysis*.

Beberapa kendala yang sering dihadapi pada pengadaan adalah diantaranya:

- Komunikasi yang lemah antara bagian operasi dan bagian pengadaan
- Tidak memasukkan energi sebagai pertimbangan dalam proses pengadaan rutin
- Pertemuan-pertemuan yang membahas kinerja energi tidak melibatkan bagian pengadaan
- Tidak melakukan review secara rutin terhadap penggunaan energi

#### 10.3.6. Evaluasi Manajemen Energi

Tinjauan manajemen akan membantu organisasi untuk mencapai peningkatan berkelanjutan dan untuk menilai kesesuaian dan efektivitas SME.

Fungsi utama pada tahapan ini adalah:

1. Mengevaluasi manajemen energi dan
2. Melaksanakan tinjauan manajemen

##### 10.3.6.1. Mengevaluasi Manajemen Energi

Tiga kegiatan utama dalam mengevaluasi manajemen energi adalah:

- a. menganalisis parameter kritis,
- b. mengevaluasi kepatuhan terhadap peraturan dan persyaratan lain dan
- c. mengevaluasi pelaksanaan manajemen energi.

##### a. Menganalisis parameter Kritis:

Setiap SEU mempunyai parameter kritis yang merupakan parameter operasi kunci yang mempengaruhi kinerja energinya. Parameter tersebut harus diidentifikasi, didokumentasi dan dikomunikasikan serta di monitor dan dikendalikan.

Contoh parameter kritis pada kompresor adalah tekanan, kekeringan udara (dryness) dan pressure drop.

##### b. Mengevaluasi kepatuhan terhadap peraturan dan persyaratan lain dan

Semakin awal dilakukan semakin baik, karena peraturan dan persyaratan yang terkait akan mempengaruhi langkah selanjutnya

Susun daftar peraturan dan persyaratan lainnya, mencakup:

- Peraturan lokal, nasional maupun regional
- Peraturan korporasi, seperti pelaporan. Rencanakerja, data dll.
- Persyaratan dari manajemen, contoh: Kinerja bulanan, budget tahunan, dll.
- Kesepakatan sukarela, contoh kesepakatan dengan pembeli atau pemerintah, dll
- Standar lain yang relevan, contoh: SNI atau ISO 50001

Lakukan tinjauan status kepatuhan terhadap peraturan dan persyaratan lainnya dalam daftar secara periodik

#### c. Mengevaluasi pelaksanaan manajemen energi

Pelaksanaan manajemen energi dengan melakukan internal audit.

Internal audit:

- a. *Review* menyeluruh dan independen pelaksanaan SME
- b. Pengecekan apakah SME secara efektif telah meningkatkan kinerja energi perusahaan
- c. Apakah target dan tujuan telah tercapai
- d. Apakah peningkatan kinerja energi berkelanjutan sudah tercapai

#### 10.3.6.2. Melaksanakan Tinjauan Manajemen

Tujuan dilakukannya tinjauan manajemen adalah menunjukkan kepada manajemen puncak terhadap pelaksanaan SME, menekankan pada area mana perlu perbaikan, untuk mendapatkan dukungan terus-menerus dari manajemen puncak dan mengusulkan dan menyepakati rencana kedepan.

Tinjauan manajemen berisi kegiatan berupa rapat/presentasi yang membahas hal-hal sebagai berikut:

- Peningkatan kinerja energi
- Pencapaian
- Bagaimana mengatasi masalah, apakah sudah teratasi
- Tindakan yang akan diambil selanjutnya

Frekwensi pelaksanaan tinjauan manajemen berbeda-beda untuk setiap SEU dan sebaiknya dilakukan setelah tahap perencanaan selesai sehingga bisa mendapatkan *support* manajemen terhadap:

- Penentuan target
- Kebutuhan sumberdaya dan rencana aksi
- Program yang akan dijalankan

Input bahasan tinjauan manajemen harus meliputi:

- Tindaklanjut dari hasil tinjauan manajemen sebelumnya
- Tinjauan atas kebijakan energi

- Tinjauan atas kinerja energi dan EnPI terkait
- Hasil tinjauan kepatuhan peraturan dan persyaratan lainnya yang berlaku untuk perusahaan
- Tingkat pencapaian obyektif dan target energi
- Hasil internal audit EnMS
- Status tindakan perbaikan dan pencegahan
- Proyeksi kinerja energi di periode berikutnya
- Rekomendasi peningkatan

Output dari tinjauan manajemen energi berupa:

- Kesepakatan tentang perubahan kinerja energi di perusahaan
- Perubahan kebijakan energi
- Perubahan EnPIs;
- Perubahan Kebijakan, target atau elemen lain dari EnMS
- Perubahan komitmen penyediaan sumberdaya
- Perubahan peraturan dan persyaratan lainnya

## 10.4. AUDIT ENERGI PADA SISTEM MANAJEMEN ENERGI

### 10.4.1. Tujuan

Tujuan pelaksanaan audit energi pada sistem manajemen energi adalah untuk:

- Memperoleh gambaran secara lengkap dan menyeluruh tentang penerapan sistem manajemen energi sekaligus melakukan evaluasinya;
- Memberikan rekomendasi pelaksanaan sistem manajemen energi.

### 10.4.2. Ruang Lingkup

#### 10.4.2.1. Ruang Lingkup Kajian

Ruang lingkup kajian audit energi pada sistem manajemen energi secara ringkas adalah:

- ✓ Menyesuaikan dengan ruang lingkup penerapan sistem manajemen energi di industri yang bersangkutan;
- ✓ Penelusuran dokumen-dokumen yang terkait dengan penerapan sistem manajemen energi di industri yang bersangkutan;

#### 10.4.2.2. Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan

Sedangkan yang dimaksud dengan ruang lingkup kegiatan/pekerjaan adalah hal-hal apa saja yang mesti dilakukan dalam melaksanakan kegiatan atau pekerjaan audit energi pada sistem manajemen energi.

Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan inilah yang akan dibahas secara rinci di dalam buku ini, mulai Subbab 10.6 hingga selesai.

Perlu disampaikan di sini bahwa Ruang Lingkup Kegiatan/Pekerjaan dirancang berdasarkan Ruang Lingkup Kajian. Oleh karena itu dengan melaksanakan - tahap demi tahap - kegiatan/pekerjaan sebagaimana diuraikan pada Subbab 10.6 hingga selesai berarti juga sudah memenuhi Ruang Lingkup Kajian.

Ruang lingkup kegiatan/pekerjaannya meliputi: a) Persiapan, b) pengumpulan data, c) analisis, dan d) penyusunan laporan.

## 10.5. PERSIAPAN AUDIT ENERGI PADA SISTEM MANAJEMEN ENERGI

### 10.5.1. Data Awal

Hal penting yang mesti dipenuhi dalam tahap persiapan (sebelum melaksanakan audit energi pada sistem manajemen energi) adalah informasi tentang data awal. Namun kebutuhan data awal di sini lebih sederhana atau sedikit bila dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh auditor yang melakukan audit energi pada peralatan, misalnya sistem kelistrikan, boiler, diesel-generator.

Data awal yang dibutuhkan adalah:

- Data proses dan produksi, disertai dengan diagram alirnya atau *flowsheet*;
- Penerapan manajemen energi;

Dengan diperolehnya data/informasi awal ini maka auditor dapat menyiapkan lembar-lembar isian (kuesioner) yang sesuai dengan kebutuhan.

### 10.5.2. Pembentukan Tim dan Pembagian Tugas

#### 10.5.2.1. Pembentukan Tim

Berdasarkan data awal sebagaimana diuraikan di dalam Subbab 10.5.1, selanjutnya dibentuk Tim, paling banyak 2 orang, terdiri atas Koordinator atau *Lead Auditor* dan seorang anggota Tim.

#### 10.5.2.2. Pembagian Tugas

Koordinator bertugas:

- a). Mengkoordinasikan kegiatan secara keseluruhan sejak awal hingga selesai;
- b). Menyusun dan/atau menjalankan jadwal kegiatan;
- c). Menugaskan anggota Tim untuk mempersiapkan alat pelindung keselamatan (*safety*) yang akan digunakan;
- d). Mempersiapkan Lembar Isian Sistem Manajemen Energi (Lampiran 1-2) dan diserahkan kepada anggota Tim;
- e). Memberikan pengarahan kepada anggota tim berkaitan dengan:

- Data yang harus dikumpulkan;
  - Lokasi-lokasi pengamatan;
  - Personil yang akan diwawancarai;
- f). Memimpin kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder di pabrik;
- g). Menyusun/menulis laporan;
- h). Apabila audit energi pada sistem manajemen energi ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator bertugas mendampingi Manajer Tim dan ikut serta pada presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri;
- i). Apabila audit energi pada sistem manajemen energi ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem manajemen energi saja, maka Koordinator bertugas melakukan presentasi hasil akhir audit energi kepada pihak pemilik atau pengelola industri.

#### Anggota Tim bertugas:

- a). Mempersiapkan alat-alat keselamatan (*safety*) yang akan digunakan;
- b). Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder melalui pengamatan dan wawancara berdasarkan Lembar Isian Sistem Manajemen Energi (Lampiran L 1-2);
- d). Mengembalikan alat-alat keselamatan (*safety*) yang telah digunakan.

### 10.5.3. Penyusunan Jadwal Kegiatan

Apabila audit energi pada sistem manajemen energi ini merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik, maka Koordinator Tim tidak perlu menyusun jadwal kegiatan. Koordinator beserta segenap anggota Tim mengikuti jadwal yang telah disusun oleh Manajer Tim, yang merupakan bagian dari kegiatan secara keseluruhan.

Namun, apabila audit energi pada sistem manajemen energi ini merupakan audit energi “tunggal” atau hanya audit pada sistem manajemen energi saja, maka Koordinator bertugas menyusun jadwal kegiatan. Contoh jadwal kegiatannya dapat dilihat pada Tabel 10-7.

### 10.5.4. Persiapan Administrasi dan Teknis

Persiapan administrasi dilakukan oleh Koordinator atau *Lead Auditor* untuk beberapa hal seperti diuraikan pada butir 10.5.2.2. Selain itu Koordinator juga berkoordinasi dengan pihak industri menyangkut tanggal kedatangan Tim di lokasi/industri.

Selain itu, biaya perjalanan, akomodasi, dan segala yang berhubungan kegiatan, juga perlu dipersiapkan untuk memudahkan dan mendukung selama berada di lokasi.

Sedangkan persiapan teknis hanya menyiapkan peralatan keselamatan (*safety*) yang sesuai dengan situasi pabrik yang akan dituju (lihat Tabel 10-8)




Tabel 10-7  
Contoh jadwal kegiatan audit energi pada sistem manajemen energi  
(apabila audit energi ini sebagai audit energi “tunggal”)

No	Kegiatan	Minggu Ke-				
		1	2	3	4	5
1	Persiapan - Pengumpulan data awal (melalui survei awal atau pengiriman kuesioner) - Pembahasan data awal, pembentukan tim, persiapan peralatan, dan mobilisasi					
2	Pengumpulan data primer dan sekunder					
3	Evaluasi dan Analisis Data					
4	Penyusunan laporan					
5	Presentasi laporan akhir					
6	Koordinasi manajemen					

Tabel 10-8  
Peralatan K-3 untuk audit energi pada sistem manajemen energi \*)

Nama dan Fungsi Alat	Ilustrasi
<b>Pelindung Kepala (Helm)</b> (MSA VGARD 500 Safety Hard Hat c/w ratchet harness) ( <a href="http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs">http://www.sitebox.ltd.uk/msa-vgard-500-safety-hard-hat-cw-ratchet-harness-oMSA_VGARD500rs</a> )	
Kacamata keselamatan (Hornets safety glasses) ( <a href="http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992">http://www.1staidssupplies.com/products/hornets-safety-glasses-992</a> )	
Sarung-tangan kain ( <a href="http://distributorsarung tangan.com/">http://distributorsarung tangan.com/</a> )	
Pelindung mulut dan hidung ( <a href="http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547">http://rajahmundry.all.biz/safety-nose-mask-g210547</a> )	
Pelindung telinga ( <a href="http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html">http://malaysiasafetyproduct.blogspot.com/p/construction.html</a> )	
Pakaian keselamatan ( <a href="http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL">http://www.pioneerprotectiveproducts.com/product.php/227/SAFETY+POLY-COTTON+COVERALL</a> )	

Sepatu keselamatan ( <a href="http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html">http://www.mr-shopping.net/shop/Shoes/Mens/Boots/5071659121106828/timberland_pro_men-s_8_titan_safety_toe_boots_cappucino.html</a> )	
---	--

\*) Catatan: Daftar peralatan tersebut dimaksudkan hanya untuk ilustrasi. Terkait dengan merek, tipe, jenis, dan sebagainya tidak menjadi pedoman atau referensi.

### 10.5.5. Persiapan dan Pengarahan K-3

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan suatu ilmu yang membahas tentang keselamatan dan kesehatan pekerja, lingkungan kerja, dan hasil kerja. Pengertian K-3 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PP) Nomor 50 Tahun 2012, Bab I, Pasal 1, butir 2 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Produktivitas suatu perusahaan salah satunya sangat bergantung pada peran yang dilakukan oleh tenaga kerjanya. Kemampuan tenaga kerja untuk melakukan produksi memerlukan dukungan dan jaminan keselamatan dalam melakukan pekerjaannya.

Bahaya kesehatan penting yang mungkin memiliki dampak kesehatan di industri di antaranya:

- Debu yang berada dan melayang di udara
- Kebisingan dan getaran
- Atmosfer yang berbahaya
- Radiasi
- Penanganan bahan bakar alternatif

Terkait dengan kegiatan audit energi, selayaknya Buku Panduan tentang K-3 juga dimiliki oleh suatu institusi atau tim auditor energi. Dengan demikian pada saat tim auditor energi akan diberangkatkan ke lokasi atau industri/pabrik yang akan diaudit energinya, maka Koordinator mengingatkan kembali dan/atau memberikan pengarahan di bidang K-3.

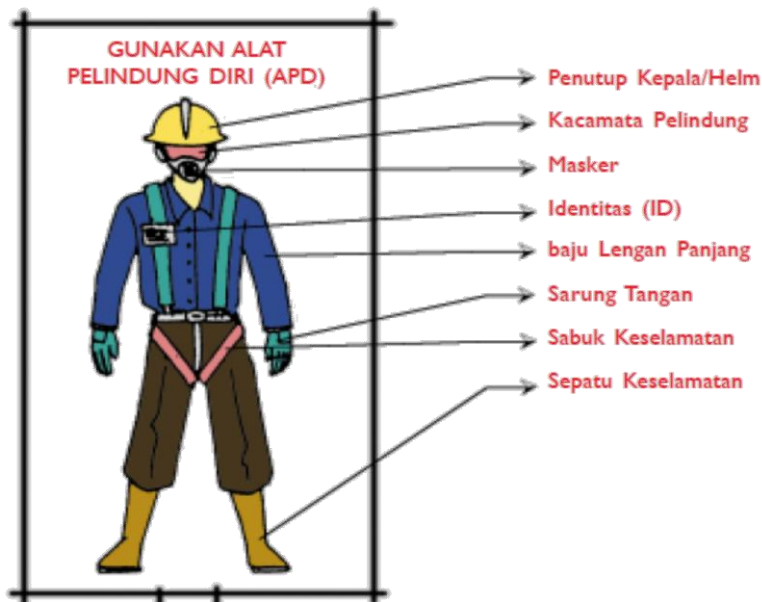
Hal-hal yang perlu dilaksanakan oleh setiap personil atau anggota tim audit energi yang akan beraktivitas di industri atau pabrik dan lingkungannya, terkait dengan ketentuan K-3 setidaknya adalah: (1) melaksanakan prosedur K-3, (2) menangani situasi darurat, dan (3) menyesuaikan perilaku kerja.

Uraian rinci mengenai ketiga hal di atas dapat dilihat pada Bab 2, Subbab 2.2.5.1 sampai dengan 2.2.5.3.

Gambar 6-5 memperlihatkan contoh beberapa alat pelindung diri yang biasa digunakan.

Pelindung pernapasan yang memadai harus dipergunakan di lokasi yang berdebu di pabrik. Deflektor kebisingan dan peredam suara dapat dipergunakan untuk mengurangi tingkat kebisingan. Upaya perlindungan dari kebakaran juga diperlukan, yang dilengkapi dengan prosedur evakuasi dalam kasus kebakaran, karena uap asap yang dihasilkan dapat bersifat racun. Prosedur kesehatan kerja mensyaratkan

tersedianya pelindung mata, *masker* pernapasan, dan pakaian pelindung untuk sekujur tubuh di area pabrik berbahan kimia.



Gambar 10-13. Alat pelindung diri.  
(Sumber: K-3 pada industri semen, 2004)

#### 10.5.6. Mobilisasi Personil dan Peralatan

Koordinator berkoordinasi dengan Personil di Industri yang akan diaudit mengenai tanggal dan jam keberangkatan Tim menuju Industri yang akan diaudit.

Setelah mendapat konfirmasi dari Personil di industri yang akan diaudit serta kelengkapan administrasi telah dipenuhi maka Koordinator segera memberangkatkan Tim beserta kelengkapan peralatannya menuju Industri yang akan diaudit dengan menggunakan sarana transportasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan lokasinya.

### 10.6. PENGUMPULAN DATA PRIMER DAN SEKUNDER

#### 10.6.1. Pemaparan Tahapan dan Proses Pelaksanaan Audit Energi

Tahapan selanjutnya dalam melakukan audit energi di industri adalah pengumpulan data, baik data primer maupun data sekunder di lokasi obyek yang akan diaudit.

Sebelum pengambilan data dilakukan, tim audit energi terlebih dahulu memaparkan tahapan dan proses pelaksanaan audit energi pada sistem manajemen energi. Pemaparan ini merupakan pertemuan antara tim auditor dengan pihak pabrik yang akan diaudit energinya. Hal yang disampaikan oleh tim auditor adalah:

- Pengenalan Tim
- Pemaparan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Pelaksanaan Pengumpulan Data Primer dan Sekunder
- Verifikasi/Klarifikasi Data yang Diperoleh

### 10.6.2. Pelaksanaan Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan mengacu pada Lampiran L-1-2.

### 10.6.3. Pemaparan Hasil Sementara Audit Energi

Setelah selesai melakukan pengumpulan data, auditor diharapkan dapat menyampaikan temuan-temuan sementara hasil audi.

Beberapa temuan yang didapatkan tersebut, antara lain berisi mengenai kondisi *best practice* yang telah berjalan di *plant*, titik fokus area yang terdapat potensi penghematan energi, evaluasi sesaat pola operasi dan pemeliharaan, dan kondisi eksisting kinerja peralatan yang ada.

## 10.7. ANALISIS

### 10.7.1. Keberadaan Organisasi Manajemen Energi

Sebagaimana diuraikan dalam Subbab 10.3.1 (Persyaratan Umum), maka hal pertama yang perlu dipastikan oleh auditor adalah keberadaan organisasi manajemen energi. Apabila organisasi sudah ada, maka kajiannya dilanjutkan dengan pendalaman operasional organisasi tersebut. Pendalaman yang dimaksudkan di sini adalah dengan melanjutkan langkah analisis pada butir-butir berikutnya.

Apabila organisasinya belum ada bukan berarti kajian tidak dapat dilanjutkan. Kajian tetap dapat dilanjutkan pada subbab-subbab analisis berikutnya, namun akan terdapat bagian-bagian yang tidak dapat “dijawab”, khususnya bila menyangkut hal-hal yang berkaitan dengan keberadaan organisasi.

### 10.7.2. Tanggung Jawab Manajemen Puncak

Analisis diarahkan pada pertanyaan mendasar, yakni: “apakah ada komitmen dari manajemen puncak untuk menjalankan sistem manajemen energi?” Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hal-hal berikut:

- Kebijakan energi oleh manajemen puncak
- Manajer energi
- Sumber daya yang diperlukan untuk pembentukan dan pemeliharaan SME
- Ruang lingkup dan batas-batas SME
- Pentingnya SME bagi perusahaan
- Tujuan strategis dan operasional

- kinerja energi (hasil yang terukur berkaitan dengan efisiensi energi, penggunaan dan konsumsi) dalam perencanaan jangka panjang

Selain itu dikaji pula hal-hal yang telah dilakukan oleh perwakilan manajemen, meliputi:

- Memberikan laporan mengenai kinerja SME dan kinerja energi kepada Manajemen Puncak
- Kompetensi dan tanggung jawab berdasarkan SME telah didefinisikan dan dikomunikasikan
- Kriteria dan metode untuk memastikan operasi yang efektif dan pemantauan SME

### 10.7.3. Kebijakan Energi

Hal-hal yang dikaji/dianalisis meliputi:

- Kebijakan energi sudah mencakup komitmen untuk terus meningkatkan kinerja energi
- Berkomitmen untuk menyediakan informasi dan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan strategis dan operasional
- Berkomitmen untuk mematuhi semua persyaratan hukum dan lainnya yang berlaku
- Kebijakan energi mendukung pengadaan produk hemat energi dan layanan
- Kebijakan energi didokumentasikan dan dikomunikasikan ke seluruh perusahaan
- Melakukan review dan memperbarui secara berkala

### 10.7.4. Perencanaan Energi

#### 10.7.4.1. Legal dan Peraturan Lainnya

- Apakah perusahaan sudah mengidentifikasi dan menerapkan hukum dan persyaratan lainnya yang berlaku
- Apakah perusahaan sudah melakukan *review* hukum dan persyaratan lainnya secara rutin

#### 10.7.4.2. Tinjauan Energi

- Perusahaan telah melakukan kajian energi dan didokumentasikan hasil, metodologi dan kriterianya.
- Mempertimbangkan aspek-aspek berikut ini dalam pengembangan kajian energi
  - evaluasi pemakaian energi dan konsumsi
  - identifikasi area penggunaan energi yang signifikan, peralatan penting, proses dan orang-orang, dan faktor-faktor terkait yang mempengaruhi pemakaian energi

- Menentukan kinerja energi saat ini dan mengestimasi di masa mendatang
- Sudah mengidentifikasi kemungkinan perbaikan kinerja energi

#### 10.7.4.3. Menentukan Pengguna Energi Signifikan (*Significant Energy Use - SEU*)

Hal utama yang dikaji adalah:

- Apakah perusahaan telah menentukan pengguna energi signifikan (SEU)?
- Apakah perusahaan juga telah menetapkan *energy base-line*?

#### 10.7.4.4. Mengukur Kinerja Energi Terhadap *Base-Line*

Kajian difokuskan pada pertanyaan apakah indikator kinerja energi yang sesuai (EnPIs) telah diidentifikasi, dan secara teratur dilakukan review?

#### 10.7.4.5. Identifikasi Potensi Penghematan Energi

Kajian difokuskan pada upaya perusahaan dalam mengidentifikasi potensi penghematan energi.

#### 10.7.4.6. Menentukan Tujuan, Target, dan Rencana Tindak (*Action Plan*)

Kajiannya meliputi:

- Tujuan strategis dan operasional telah ditetapkan untuk jangka waktu berdasarkan pekerjaan awal
- Rencana aksi telah ditetapkan, bersama dengan sumber daya yang diperlukan dan jangka waktu untuk mencapai tujuan, serta definisi dari tanggung jawab dan metode tinjauan

#### 10.7.4.7. Mengembangkan Rencana Tindak

Kajiannya mengenai rencana tindak apa saja yang telah disusun oleh perusahaan, termasuk jadwal dan tahapan pelaksanaannya.

### 10.7.5. Pelaksanaan Rencana Manajemen Energi

#### 10.7.5.1. Kompetensi, Pelatihan (*Training*), dan Kepedulian (*Awareness*)

- Pegawai dan orang terkait lainnya yang bekerja di perusahaan telah cukup terlatih di bidang penggunaan energi yang signifikan
- Seluruh karyawan dan orang terkait lainnya memiliki pengetahuan tentang bidang-bidang berikut:
  - pentingnya patuh pada kebijakan energi
  - Proses EnMS dan persyaratannya.
  - Peran dan tanggung jawab individu
  - Keuntungan dari perbaikan kinerja energi

- Dampak potensialnya pada konsumsi energi dan efisiensi energi
- Pelatihan telah didokumentasikan

#### **10.7.5.2. Komunikasi**

- Kinerja energi dan EnMS sudah dikomunikasikan secara internal
- Semua karyawan berperan aktif dalam meningkatkan EnMS

#### **10.7.5.3. Dokumentasi**

Dokumentasi EnMS mencakup:

- Elemen utama (butir 4.2 s.d. 4.5.3 dari standar)
- Ruang lingkup dan batasan EnMS
- Semua dokumen lain yang diperlukan oleh standar

#### **10.7.5.4. Pengendalian Dokumen**

Hal berikut ini dipastikan berkaitan dengan dokumen:

- Review terhadap kelengkapan dokumen sebelum digunakan
- Evaluasi dan pemutakhiran secara berkala
- Petunjuk yang jelas dari status revisi dan penelusuran perubahan
- Tersedia dengan baik
- Mudah dibaca dan teridentifikasi
- Identifikasi dan distribusi dokumen eksternal yang relevan dengan EnMS
- Penanggulangan penggunaan dokumen usang
- Penyimpanan dokumen lama yang relevan sesuai kebutuhan

#### **10.7.5.5. Kontrol Operasi**

Aspek-aspek berikut diperhatikan dalam proses penetapan dan perencanaan:

- menentukan kriteria efektivitas pengoperasian dan pemeliharaan semua sektor yang terkait
- pengoperasian dan pemeliharaan peralatan dan proses sesuai dengan kriteria
- informasi diberikan kepada seluruh karyawan dan orang terkait lainnya

#### **10.7.5.6. Desain**

- peluang untuk meningkatkan kinerja energi diperhitungkan dalam desain baru, diubah atau direnovasi peralatan dan proses
- didokumentasikan

#### **10.7.5.7. Pengadaan Jasa, Produk, Peralatan, dan Energi**

- Suplier menginformasikan bahwa penggunaan energi, konsumsi dan efisiensi sesuai kriteria pembelian

- Sudah mengembangkan kriteria pembelian terkait energi
- didokumentasikan

### 10.7.6. Evaluasi Manajemen Energi

#### 10.7.6.1. Mengevaluasi Manajemen Energi

- Aspek-aspek berikut dipertimbangkan dalam monitoring dalam kerangka kerja EnMS:
  - Hasil kajian energi dan Area penggunaan energi yang signifikan
  - Faktor-faktor terkait yang berpengaruh
  - Indikator kinerja energi
  - Efektivitas rencana aksi berkaitan dengan penetapan tujuan
  - Evaluasi konsumsi energi aktual relatif terhadap harapan
- Rencana disusun untuk mengukur energi, dan rencana ini diimplementasikan
- Memastikan persyaratan untuk pengukuran dan operasi yang benar dari peralatan pengukuran

#### 10.7.6.2. Evaluasi Hukum dan Persyaratan Lainnya

Kajian dilakukan untuk mengetahui pemenuhan hukum dan persyaratan lainnya dievaluasi dan didokumentasikan secara teratur.

#### 10.7.6.3. Audit Internal Sistem Manajemen Energi

Apakah perusahaan melaksanakan audit energi internal secara teratur?

## 10.8. PENYUSUNAN LAPORAN

Penyusunan laporan audit energi pada sistem manajemen energi bergantung pada lingkup audit energi yang dilakukan. Umumnya audit energi pada sistem manajemen energi merupakan bagian dari suatu audit energi rinci. Artinya, di samping sistem manajemen energi yang diaudit, terdapat juga misalnya sistem-sistem kelistrikan, boiler, diesel generator, turbin-generator, dan lain-lainnya. Namun dapat terjadi suatu pabrik menginginkan sistem manajemen energinya saja yang diaudit.

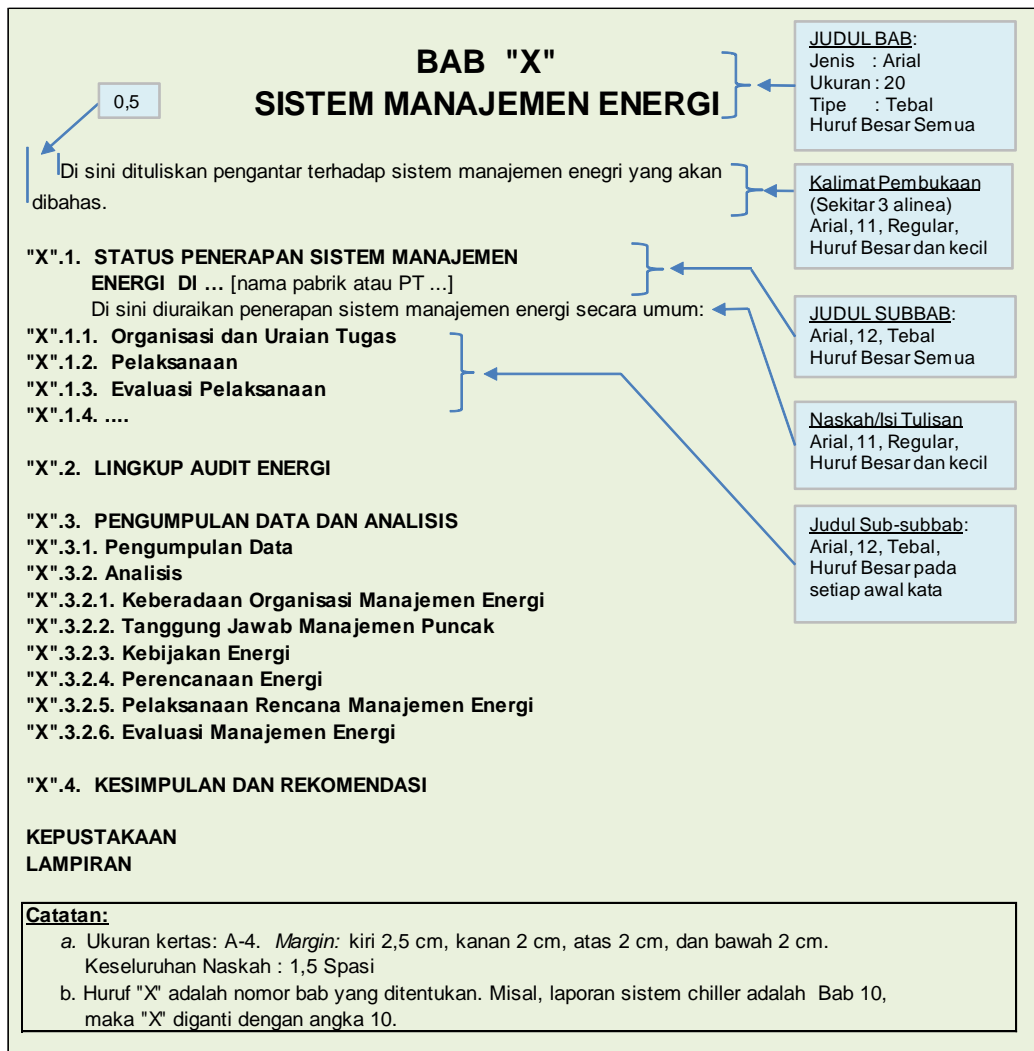
### 10.8.1. Sebagai Bagian Dari Audit Energi Rinci

Dalam buku ini audit energi pada sistem manajemen energi merupakan bagian dari audit energi rinci di industri/pabrik. Dengan demikian laporan yang disusun juga merupakan bagian dari suatu laporan gabungan. Contoh kerangka dan format laporannya dapat dilihat pada Gambar 10-14. Sedangkan untuk format penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki dapat dilihat pada Gambar 10-15.

Huruf “X” pada judul laporan (Gambar 10-14) adalah urutan bab pada sistem manajemen energi. Misalnya, laporan untuk audit energi pada sistem manajemen



energi berada pada urutan ke-10, maka ini berarti huruf “X” diganti dengan angka 10 atau X. Dengan demikian judul laporan menjadi: Bab 10 atau Bab X Sistem Manajemen energi.



Gambar 10-14. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi pada sistem manajemen energi yang merupakan bagian dari audit energi secara keseluruhan di pabrik.

Hal utama yang mesti dituliskan di dalam laporan - sesuai dengan Gambar 10-14 - meliputi:

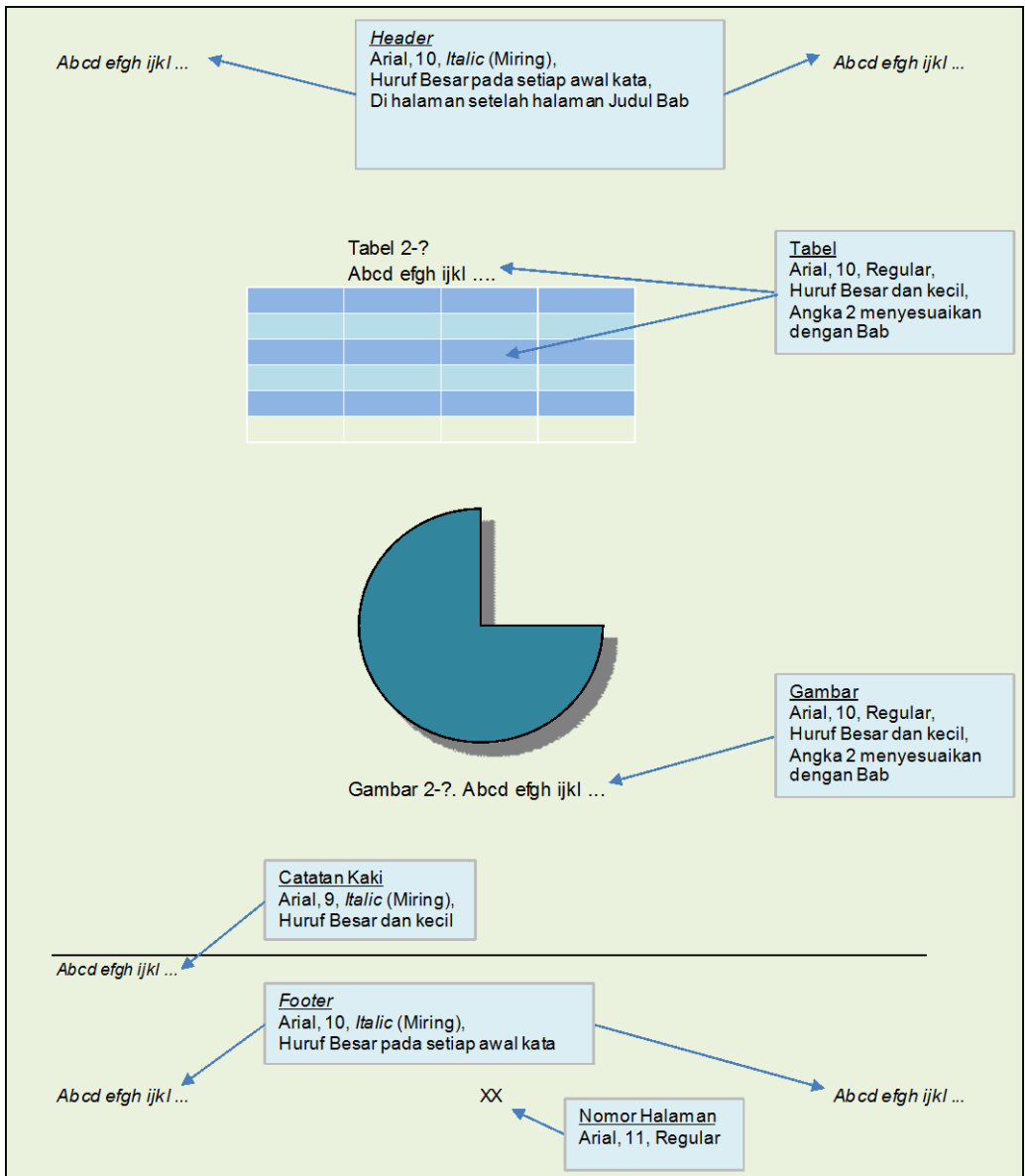
- Deskripsi atau Status Penerapan Sistem Manajemen energi  
Di sini diuraikan hal-ikhwal mengenai sistem manajemen energi di pabrik tersebut;
- Lingkup Audit Energi pada Sistem Manajemen energi

Dijelaskan seberapa rinci lingkup kegiatan yang dilakukan.

c. Pengambilan Data dan Analisis

Di sini diuraikan data apa saja yang diambil disertai metodenya. Selanjutnya disampaikan analisisnya.

d. Disampaikan kesimpulan dan rekomendasi-rekomendasinya.



Gambar 10-15. Contoh format dalam penulisan nama tabel, gambar, dan catatan kaki.

## 10.8.2. Audit Energi Hanya Pada Sistem Manajemen Energi

Sebagaimana disampaikan di atas, terbuka kemungkinan sebuah industri atau pabrik minta dilakukan audit energi hanya pada sistem manajemen energi-nya saja. Dengan demikian laporan yang disusun pun berbeda. Bukan merupakan bagian dari suatu laporan gabungan, melainkan sebuah laporan “tunggal”, yang hanya mengulas ikhwal sistem manajemen energi, mulai dari pendahuluan, persiapan, pengambilan data, analisis, hingga kesimpulan dan rekomendasi. Contoh kerangka laporannya dapat dilihat pada Gambar 10-16.

<b>DAFTAR ISI</b>		Arial, 20, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>KATA PENGANTAR</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar Semua
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>		
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	}	Arial, 11, Tebal, Huruf Besar dan Kecil
1.1. Identitas Perusahaan		
1.2. Status Penyediaan dan Konsumsi Energi		
1.3. ....		
<b>BAB 2 STATUS PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN ENERGI DI ... [nama pabrik atau PT ...]</b>		
2.1. Organisasi dan Uraian Tugas		
2.2. Pelaksanaan		
2.3. Evaluasi Pelaksanaan		
2.4. ....		
<b>BAB 3 LINGKUP AUDIT ENERGI</b>		
<b>BAB 4 PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS</b>		
4.1. Pengumpulan Data		
4.2. Analisis		
4.2.1. Keberadaan Organisasi Manajemen Energi		
4.2.2. Tanggung Jawab Manajemen Puncak		
4.2.3. Kebijakan Energi		
4.2.4. Perencanaan Energi		
4.2.5. Pelaksanaan Rencana Manajemen Energi		
4.2.6. Evaluasi Manajemen Energi		
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>		
5.1 Kesimpulan		
5.2 Rekomendasi		
<b>KEPUSTAKAAN</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>Catatan:</b>		
a. Ukuran kertas: A-4. <i>Margin:</i> kiri 2,5 cm, kanan 2 cm, atas 2 cm, dan bawah 2 cm. Keseluruhan Naskah : 1,5 Spasi		
b. Secara umum, huruf untuk naskah atau isi tulisan: arial, font 11, regular.		
c. Kata-kata yang berasal dari bahasa asing dicetak miring.		

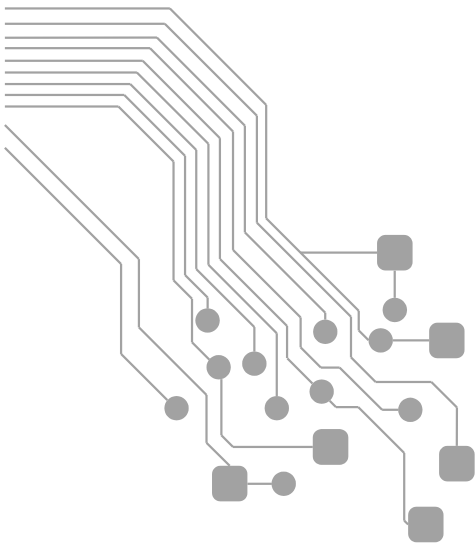
Gambar 10-16. Contoh kerangka dan format laporan untuk audit energi hanya pada sistem manajemen energi di industri.

Garis besar uraian pada masing-masing Bab adalah sebagai berikut:

- a. Kata Pengantar  
Pada prinsipnya menguraikan secara singkat latar belakang dan tujuan dilaksanakan kegiatan audit energi ini. Disarankan hanya 1 lembar saja.
- b. Ringkasan Eksekutif  
Menyarikan hal-hal yang dituliskan di dalam kesimpulan dan rekomendasi. Sesuai dengan sebutannya “eksekutif” maka disarankan Ringkasan Eksekutif ini dibuat hanya 1 lembar saja.
- c. Pendahuluan  
Disampaikan: identitas perusahaan (nama, alamat, barang yang diproduksi beserta kapasitas produksinya), status terkini penyediaan dan konsumsi energi (energi listrik, uap, dan jenis lainnya bila ada), dan hal-hal lain bila dipandang perlu.
- d. Status Penerapan Sistem Manajemen energi
- e. Lingkup Audit Energi pada Sistem Manajemen energi
- f. Pengumpulan Data dan Analisis
- h. Kesimpulan dan Rekomendasi

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Brent, Alan. 2014. *Energy Management Guideline*. Center for Renewable and Sustainable Energy Study. South Africa.
- [2] BSR. April 2012. *Energy Management Handbook*.
- [3] Dewan Energi Nasional. 2014. *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta.
- [4] EnerNoc Utility Solution. 2013. *Energy Baseline Methodologies for Industrial Facilities*. NEEA.
- [5] HKEIA. 2013. *Guidebook for Energy Management System ISO 50001*.
- [6] Thomas, Frank. *Basics: Energy Management System*. ([www.encyclopedia-efm.com](http://www.encyclopedia-efm.com)). Envidatec GmbH.
- [7] UNIDO. 2011. *Two Days Energy Management Training*.
- [8] Wayne, Turner C., Doty Steve. 2007. *Energy Management Handbook*. Six Ed. Fairmon Press Inc.
- [9] [www.fmlink.com/](http://www.fmlink.com/)



# LAMPIRAN - 1

## Lembar Isian

	Hal.
Lampiran 1-1 Lembar Isian Data Awal Informasi Industri .....	468
Lampiran 1-2 Lembar Isian Sistem Manajemen Energi .....	470
Lampiran 1-3 Lembar Isian Sistem Kelistrikan .....	477
Lampiran 1-4 Lembar Isian Sistem Boiler .....	479
Lampiran 1-5 Lembar Isian Sistem Diesel Generator .....	482
Lampiran 1-6 Lembar Isian Sistem Distribusi Uap .....	484
Lampiran 1-7 Lembar Isian Sistem Integrasi Proses .....	486
Lampiran 1-8 Lembar Isian Sistem Chiller .....	488
Lampiran 1-9 Lembar Isian Sistem Pompa .....	490

## Lampiran 1-1

### Lembar Isian Data Awal Informasi Industri

#### 1. INFORMASI UMUM

1.1	Nama Perusahaan/Pabrik		
1.2	Alamat Perusahaan/Pabrik	No. Telp. : Situs :	
1.3	Uraian Kapasitas Produksi:		
	Bahan Baku	Produk	Kapasitas Produksi *)
			Terpasang      Kenyataan (Saat Ini)

\*) Satuan: [ton/tahun] atau satuan lainnya

1.4	Diagram Alir ( <i>Flowsheet</i> ) Proses Produksi	Mohon Dapat Dilampirkan
1.5	Pejabat/Personil yang Dihubungi ( <i>Contact Person</i> )	No. Telp.

#### 2. SISTEM KELISTRIKAN

2.1	Sumber Energi Listrik	<input type="checkbox"/> PT PLN (Persero) <input type="checkbox"/> Pembangkitan Sendiri	Kontrak Daya :      MVA Daya :                      MVA
2.2.	Uraian Transformator:		
	Sumber	Transformator (Trafo)	
		No	Kapasitas, [kVA]
	<input type="checkbox"/> PT PLN (Persero)		
	<input type="checkbox"/> Pembangkitan Sendiri		
2.3	Diagram Satu Garis ( <i>Single Line Diagram</i> )		Mohon dilampirkan.

3. PERALATAN PROSES UTAMA

No	Nama Alat	No Unit	Kapasitas

3. PERALATAN UTILITAS

No	Nama Alat	No Unit	Kapasitas, [ton/jam]	Tekanan, [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	Boiler	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
2	Turbin-Uap Generator	1		
		2		
		3		
		4		
3	Diesel-Generator	1		
		2		
		3		
		4		
4	Pompa Besar	1		
		2		
		3		
		4		
5	Chiller	1		
		2		
		3		
		4		
6				

## Lampiran 1-2

### Lembar Isian Sistem Manajemen Energi

#### 1. Organisasi Manajemen Energi

1.1	Apakah perusahaan/industri sudah memiliki Organisasi Manajemen Energi?	<input type="checkbox"/> Sudah <input type="checkbox"/> Belum
1.2	Bila jawaban 1.1: “Sudah”, Apakah Manajer Energi bersertifikat?	<input type="checkbox"/> Ya <input type="checkbox"/> Tidak
1.3	Bila jawaban 1.1: “Sudah”, mohon lampirkan salinan Struktur Organisasi Manajemen Energi	

#### 2. Sistem Manajemen Energi (*Check List*)

Petunjuk : Harap diberi tanda, misal tanda silang, pada pilihan yang sesuai.

Manajemen Energi		Rencana Tindak	PIC	Kesesuaian
A. Tanggung Jawab Manajemen				
Manajemen Puncak	▪ Kebijakan energi oleh manajemen puncak			
	▪ Manajer energi			
	▪ Sumber daya yang diperlukan untuk pembentukan dan pemeliharaan EnMS			
	▪ Ruang lingkup dan batas-batas EnMS			
	▪ Pentingnya EnMS bagi perusahaan			
	▪ Tujuan strategis dan operasional			
	▪ Kinerja energi (hasil yang terukur berkaitan dengan efisiensi energi, penggunaan dan konsumsi) dalam perencanaan jangka panjang			



Perwakilan Manajemen ( <i>Management Representative</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Memberikan laporan mengenai kinerja EnMS dan kinerja energi kepada manajemen puncak</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kompetensi dan tanggung-jawab berdasarkan EnMS telah didefinisikan dan dikomunikasikan</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kriteria dan metode untuk memastikan operasi yang efektif dan pemantauan EnMS</li> </ul>			

Keterangan: PIC = *Person in Charge*  
EnMS = *Energy Management System*

Manajemen Energi	Rencana Tindak	PIC	Kesesuaian
<b>B. Kebijakan Energi</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kebijakan energi sudah mencakup komitmen untuk terus meningkatkan kinerja energi</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berkomitmen untuk menyediakan informasi dan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan strategis dan operasional</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berkomitmen untuk mematuhi semua persyaratan hukum dan lainnya yang berlaku</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kebijakan energi mendukung pengadaan produk hemat energi dan layanan</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kebijakan energi didokumentasikan dan dikomunikasikan ke seluruh perusahaan</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melakukan <i>review</i> dan memperbarui secara berkala</li> </ul>			

Manajemen Energi		Rencana Tindak	PIC	Kesesuaian
C. Perencanaan Energi				
Umum	Perusahaan telah melaksanakan dan mendokumentasikan proses perencanaan energi			
Hukum dan persyaratan lainnya	Perusahaan sudah mengidentifikasi dan menerapkan hukum dan persyaratan lainnya yang berlaku			
	Sudah melakukan <i>review</i> hukum dan persyaratan lainnya secara rutin			
Tinjauan Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perusahaan telah melakukan kajian energi dan didokumentasikan hasil, metodologi dan kriterianya.</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mempertimbangkan aspek-aspek berikut ini dalam pengembangan kajian energi: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ evaluasi pemakaian energi dan konsumsi</li> </ul> </li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ identifikasi area penggunaan energi yang signifikan, peralatan penting, proses dan orang-orang, serta faktor-faktor terkait yang mempengaruhi pemakaian energi</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ menentukan kinerja energi saat ini dan mengestimasi di masa mendatang</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sudah mengidentifikasi kemungkinan perbaikan kinerja energi</li> </ul>			
<i>Energy Baseline</i>	<i>Energy baseline</i> telah ditetapkan dengan menggunakan informasi dari tinjauan energi awal			
Indikator Kinerja Energi	Indikator kinerja energi yang sesuai (EnPIs) telah diidentifikasi, dan secara teratur dilakukan <i>review</i>			

Tujuan Energi, Target Energi, dan Rencana Aksi Manajemen Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tujuan strategis dan operasional telah ditetapkan untuk jangka waktu berdasarkan pekerjaan awal</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rencana aksi telah ditetapkan, bersama dengan sumber daya yang diperlukan dan jangka waktu untuk mencapai tujuan, serta definisi dari tanggung jawab dan metode tinjauan</li> </ul>			

Manajemen Energi		Rencana Tindak	PIC	Kesesuaian
D. Penerapan dan Pengoperasian				
Kompetensi, Pelatihan dan Kesadaran	▪ Pegawai dan orang terkait lainnya yang bekerja di perusahaan telah cukup terlatih di bidang penggunaan energi yang signifikan			
	▪ Seluruh karyawan dan orang terkait lainnya memiliki pengetahuan tentang bidang-bidang berikut: ✓ pentingnya patuh pada kebijakan energi			
	✓ proses EnMS dan persyaratannya			
	✓ peran dan tanggung jawab individu			
	✓ keuntungan dari perbaikan kinerja energi			
	✓ dampak potensialnya pada konsumsi energi dan efisiensi energi			
	▪ Pelatihan telah didokumentasikan			
Komunikasi	▪ Kinerja energi dan EnMS sudah dikomunikasikan secara internal			
	▪ Semua karyawan berperan aktif dalam meningkatkan EnMS			

Dokumentasi	Dokumentasi EnMS mencakup:			
	▪ Elemen utama (butir 4.2 s.d. 4.5.3 dari standar)			
	▪ Ruang lingkup dan batasan EnMS			
	▪ Semua dokumen lain yang diperlukan oleh standar			
Pengendalian Dokumen	Hal berikut ini dipastikan berkaitan dengan dokumen:			
	▪ <i>Review</i> terhadap kelengkapan dokumen sebelum digunakan			
	▪ Evaluasi dan pemutakhiran secara berkala			
	▪ Petunjuk yang jelas dari status revisi dan penelusuran perubahan			
	▪ Tersedia dengan baik			
	▪ Mudah dibaca dan teridentifikasi			
	▪ Identifikasi dan distribusi dokumen eksternal yang relevan dengan EnMS			
	▪ Penanggulangan penggunaan dokumen usang			
Pengendalian Operasional	Aspek-aspek berikut diperhatikan dalam proses penetapan dan perencanaan:			
	▪ menentukan kriteria efektivitas pengoperasian dan pemeliharaan semua sektor yang terkait			
	▪ pengoperasian dan pemeliharaan peralatan dan proses sesuai dengan kriteria			
	▪ informasi diberikan kepada seluruh karyawan dan orang terkait lainnya			

Desain	▪ peluang untuk meningkatkan kinerja energi diperhitungkan dalam desain baru, diubah, atau direnovasi peralatan dan proses			
	▪ didokumentasikan			
Pengadaan Layanan Energi, Produk, Peralatan, dan Energi	▪ <i>Supplier</i> menginformasikan bahwa penggunaan energi, konsumsi, dan efisiensi sesuai kriteria pembelian			
	▪ Sudah mengembangkan kriteria pembelian terkait energi			
	▪ didokumentasikan			

Manajemen Energi		Rencana Tindak	PIC	Kesesuaian
E. Pengecekan				
Monitoring, Pengukuran, dan Analisis	▪ Aspek-aspek berikut dipertimbangkan dalam monitoring dalam kerangka kerja EnMS: ✓ Hasil kajian energi dan Area penggunaan energi yang signifikan			
	✓ Faktor-faktor terkait yang berpengaruh			
	✓ Indikator kinerja energi			
	✓ Efektivitas rencana aksi berkaitan dengan penetapan tujuan			
	✓ Evaluasi konsumsi energi aktual relatif terhadap harapan			
	▪ Rencana disusun untuk mengukur energi, dan rencana ini diimplementasikan			
	▪ Memastikan persyaratan untuk pengukuran dan operasi yang benar dari peralatan pengukuran			

Evaluasi hukum dan persyaratan lainnya	Pemenuhan hukum dan persyaratan lainnya dievaluasi dan didokumentasikan secara teratur			
Audit Internal EnMS	Audit internal dilakukan secara teratur			

## Lampiran 1-3

### Lembar Isian Sistem Kelistrikan

#### 1. Rekening Listrik:

a.	Nomor I.D Pelanggan	
b.	Golongan Tarif	
c.	Data Historis	Harap lampirkan salinan rekening listrik PT PLN (Persero) 5 tahun terakhir.

#### 2. Transformator (Trafo):

Trafo	Jenis	Merk	Tahun	Lokasi	Suplai ke Panel Utama	Kapasitas
TR-1						Lihat Lembar Isian-1
TR-2						
TR-3						
TR-4						
TR-5						
TR-6						
TR-7						
TR-8						

#### 3. Diesel-Generator:

Diesel-Generator	Merk	Tahun	Kapasitas
DG-1			Lihat Lembar Isian-1
DG-2			
DG-3			
DG-4			

#### 4. Pengukuran Data Listrik Keseluruhan

Lakukan pengambilan data melalui pengukuran secara sinambung (kontinyu). Pengukuran dilakukan pada panel-panel listrik tegangan rendah, keluaran dari setiap transformator (trafo).

Parameter yang diukur adalah tegangan masing masing fasa, arus masing-masing fasa, daya aktif, reaktif dan daya semu total, faktor daya, harmonisa tegangan maupun harmonisa arus.

Nama Panel Listrik	Arus pada Fase			Tegangan pada Fase			Daya			Faktor Daya (CosΦ)	THD Tegangan			THD Arus		
	R	S	T	R	S	T	Semu	Reaktif	Aktif		R	S	T	R	S	T
	[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[V]	kVA	kVAr	kW							
Panel-1 (Trafo-1)																

Panel-2 (Trafo-2)																
Panel-n (Trafo-n)																
Total																

Catatan : Pengukuran pada setiap Panel Listrik (keluaran Trafo) dilakukan secara kontinyu selama minimal 5x24 jam dengan selang waktu 1 menit.

5. **Pengukuran Data Listrik ke .....** (Sebutkan Nama Sistem atau Peralatannya)  
Lakukan pengambilan data melalui pengukuran secara sinambung (kontinyu) pada Panel Listrik yang memasok sistem atau peralatan di atas.  
Parameter yang diukur identik dengan butir 4 di atas.

Nama		Arus pada Fase:			Tegangan pada Fase:			Daya			Faktor Daya CosΦ	THD Tegangan			THD Arus		
		R	S	T	R	S	T	Sm	Rktf	Akt		R	S	T	R	S	T
		[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[V]	kVA	kVAr	kW							
Panel-1	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
Panel-2	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
Panel-n	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																
	..... (Nama alat)																

6. **Observasi**  
Observasi kondisi fisik masing-masing Trafo dan Panel-panel listrik (MVDP/ *Medium Voltage Distribution Panel* dan LVDP/ *Low Voltage Distribution Panel*)
7. **Dokumentasi**  
Buat dokumentasi foto terkait dengan setiap peralatan sistem kelistrikan.



## Lampiran 1-4

### Lembar Isian Sistem Boiler

#### A. DATA PRIMER (Pengukuran)

No	Parameter Acuan		Simbol	Satuan	Pembacaan
1	Bahan Bakar	laju alir	Qff	ton/jam atau kl/jam	
		temperatur	Tff	°C	
2	Air Umpan Boiler	laju alir	Qfw	ton/jam	
		temperatur	Tfw	°C	
3	Uap (Hasil)	laju alir	Qs	ton/jam	
		temperatur	Ts	°C	
		tekanan	Ps	kg/cm <sup>2</sup>	
4	Gas Buang	kadar O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	%	
		kadar CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	%	
		kadar CO	CO	%	
		temperatur	Tf	°C	
5	Udara Pembakaran	laju alir	Qca	m <sup>3</sup> /jam	
		temperatur	Tca	°C	
		kelembaban relatif	Rh-ca	%	
6	Dinding Boiler	temperatur permukaan	Tbw	°C	
7	Blowdown	laju alir	Qbd	ton/jam	
		TDS	TDS	ppm	
8	Udara Sekitar (Ambien)	temperatur	Ta	°C	
		kelembaban relatif	Rh-a	%	

## B. DATA SEKUNDER

### B.1 Spesifikasi Boiler

No Unit	Kapasitas, [ton/jam]	Tekanan, [kg/cm <sup>2</sup> ]	Temperatur, [°C]	Merek	Produsen	Tahun Pemakaian
1						
2						
3						
4						
5						
6						

### B.2. Pola Operasi dan Perawatan

No Unit	Keterangan/Uraian
1	
2	
3	
4	
5	
6	

### B.3. Salinan Dokumen

- Salinan (*copy*) data operasional harian boiler atau *logsheet (logbook)* selama 3 bulan terakhir;
- Salinan dokumen perawatan atau modifikasi yang pernah dilakukan;
- Salinan Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure (SOP)*;
- Salinan hasil uji kinerja (*performance test*) pada saat “komisioning” menjelang serah terima unit-unit boiler;

## B. ANALISIS LABORATORIUM

No	Parameter Acuan	Simbol	Satuan	Pembacaan
1	Analisis Ultimat Bahan Bakar: Carbon Hidrogen Oksigen Sulfur Nitrogen Kadar air Abu	C H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S N <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O Ash	% % % % % % %	
2	Nilai Kalori Bahan Bakar, gross	GCV-ff	kcal/kg	
3	Bahan yang masih dapat terbakar dalam abu		%	
4	GCV abu	GCV-ash	kcal/kg	

### C. Lembar Hitung Praktis

No	Parameter Acuan	Satuan	Hasil
	Pasokan udara berlebih ( <i>Excess Air/EA</i> ): $EA = (O_2 \times 100) / (21 - O_2)$	persen	
	Kebutuhan udara teoritis (TAR): $[11 \times C + \{34.5 \times (H_2 - O_2/8)\} + 4.32 \times S] / 100$	kg/kg bahan bakar	
	Massa aktual dari pasokan udara $\{1 + EA/100\} \times \text{kebutuhan udara teoritis}$	kg/kg bahan bakar	
	Persentase kehilangan panas akibat gas buang kering: $\{k \times (T_f - T_a)\} / \text{persen } CO_2$ Keterangan: k (Seigert const.) 0,65 untuk Batu Bara 0,56 untuk Minyak Bakar 0,40 untuk Gas Alam	persen	
	Persentase kehilangan panas akibat penguapan air yang terbentuk menjadi H <sub>2</sub> di bahan bakar: $[9 \times H_2 \{584 + 0.45(T_f - T_a)\}] / \text{GCV bahan bakar}$	persen	
	Persentase kehilangan panas akibat penguapan kadar air dalam bahan bakar: $[M \times \{584 + 0.45 \times (T_f - T_a)\}] / \text{GCV bahan bakar}$	persen	
	Persentase kehilangan panas akibat penguapan kadar air di udara : $\{AAS \times \text{Humidity} \times 0.45 (T_f - T_a) \times 100\} / \text{GCV dari bahan bakar}$	persen	
	Persentase kehilangan panas akibat adanya bahan mudah terbakar dalam abu: $\{\text{Ash} \times (100 - \text{Comb. In Ash}) \times \text{GCV Ash} \times 100\} / \text{GCV bahan bakar}$	persen	
	Total kehilangan panas	persen	
	Efisiensi	persen	

## Lampiran 1-5

### Lembar Isian Sistem Diesel Generator

#### A. DATA PRIMER

No	Parameter Acuan		Satuan	Pembacaan
1	Bahan Bakar	laju alir	[ton/jam] atau [kl/jam]	
		temperatur	[°C]	
2	Udara Pembakaran	laju alir	[ton/jam] atau [m <sup>3</sup> /jam]	
		temperatur	[°C]	
		kelembaban relatif	[%]	
3	Udara di Permukaan Mesin	temperatur	[°C]	
		kecepatan	[m/detik]	
4	Gas Buang	kadar O <sub>2</sub>	[%]	
		kadar CO <sub>2</sub>	[%]	
		kadar CO	[%]	
		temperatur	[°C]	
5	Air Pendingin	laju alir masuk	[ton/jam]	
		laju alir keluar	[ton/jam]	
		temperatur masuk	[°C]	
		temperatur keluar	[°C]	
6	Dinding Diesel-generator	temperatur permukaan	[°C]	
7	Listrik yang Dihasilkan	tegangan	[Volt]	
		arus	[Ampere]	
		daya	[kVA atau kW]	
		faktor daya		
		frekuensi	[Hz]	

## B. DATA SEKUNDER

### B.1 Spesifikasi Diesel-Generator

No Unit	Kapasitas, [kVA]	Merek	Produsen	Tahun Pemakaian
1				
2				
3				
4				
5				
6				

### B.2. Pola Operasi dan Perawatan

No Unit	Keterangan/Uraian
1	
2	
3	
4	
5	
6	

### B.3. Salinan Dokumen

- Salinan (*copy*) data operasional harian diesel-generator atau *logsheet* (*logbook*) selama 3 bulan terakhir;
- Salinan dokumen perawatan atau modifikasi yang pernah dilakukan;
- Salinan Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure* (SOP);
- Salinan hasil uji kinerja (*performance test*) pada saat “komisioning” menjelang serah terima unit-unit diesel-generator;

## Lampiran 1-6

### Lembar Isian Sistem Distribusi Uap

#### A. DATA PRIMER

No	Parameter Acuan		Satuan	Pembacaan
1	Uap (Hasil Boiler)	laju alir	ton/jam	
		temperatur	°C	
		tekanan	kg/cm <sup>2</sup>	
2	Alat-1: .....	Laju alir uap masuk	ton/jam	
		Temperatur uap masuk	°C	
		Tekanan uap masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
		Laju alir kondensat keluar	ton/jam	
3	Alat-2: .....	Laju alir uap masuk	ton/jam	
		Temperatur uap masuk	°C	
		Tekanan uap masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
		Laju alir kondensat keluar	ton/jam	
4	Alat-3: .....	Laju alir uap masuk	ton/jam	
		Temperatur uap masuk	°C	
		Tekanan uap masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
		Laju alir kondensat keluar	ton/jam	
5	Alat-4: .....	Laju alir uap masuk	ton/jam	
		Temperatur uap masuk	°C	
		Tekanan uap masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
		Laju alir kondensat keluar	ton/jam	
6	Alat-n: .....	Laju alir uap masuk	ton/jam	
		Temperatur uap masuk	°C	
		Tekanan uap masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
		Laju alir kondensat keluar	ton/jam	
7	Condensate Recovery	laju alir kondensat yang digunakan kembali	ton/jam	
8	Steam Trap-1	uji fungsi steam trap		
9	Steam Trap-2	uji fungsi steam trap		
10	Steam Trap-3	uji fungsi steam trap		
11	Steam Trap-4	uji fungsi steam trap		
12	Steam Trap-n	uji fungsi steam trap		

**B. DATA SEKUNDER**

**B.1 Data Produksi Bulanan (3 Bulan Terakhir)**

No	Nama Alat	Bahan (Baku) Masuk, [ton/jam]	Bahan Keluar (Hasil), [ton/jam]	Keterangan
1				
2				
3				
n				

**B.2 Konsumsi Energi (3 Tahun Terakhir)**

No	Sumber Energi	Keterangan
1	BBM Solar	Harap lampirkan konsumsi solar (diesel) selama 3 tahun terakhir
2	BBG (Gas)	Harap lampirkan konsumsi BBG selama 3 tahun terakhir
3	Sumber Energi Lain (Terbarukan)	Harap lampirkan data penggunaan sumber energi lain termasuk yang terbarukan.

**B.3. Pola Operasi dan Perawatan**

Nama Alat	Keterangan/Uraian
1	
2	
3	
n	

**B.4. Salinan Dokumen**

- a. Diagram alir proses (*process flow diagram - PFD*);
- b. Salinan dokumen modifikasi proses yang pernah dilakukan;
- c. Salinan Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure* (SOP);

## Lampiran 1-7

### Lembar Isian Sistem Integrasi Proses

#### A. DATA PRIMER

Nama Alat	Aliran	Fluida-1			Fluida-2		
		Laju Alir, [ton/jam]	Temp, [°C]	Tekanan, [kg/cm <sup>2</sup> ]	Laju Alir, [ton/jam]	Temp, [°C]	Tekanan, [kg/cm <sup>2</sup> ]
.....	Masuk						
	Keluar						
.....	Masuk						
	Keluar						
.....	Masuk						
	Keluar						
.....	Masuk						
	Keluar						
.....	Masuk						
	Keluar						
.....	Masuk						
	Keluar						

#### B. DATA SEKUNDER

##### B.1 Data Produksi Bulanan (3 Bulan Terakhir)

No	Nama Alat	Bahan (Baku) Masuk, [ton/jam]	Bahan Keluar (Hasil), [ton/jam]	Keterangan
1				
2				
3				
n				



## B.2 Konsumsi Energi (3 Tahun Terakhir)

No	Sumber Energi	Keterangan
1	BBM Solar	Harap lampirkan konsumsi solar (diesel) selama 3 tahun terakhir
2	BBG (Gas)	Harap lampirkan konsumsi BBG selama 3 tahun terakhir
3	Sumber Energi Lain (Terbarukan)	Harap lampirkan data penggunaan sumber energi lain termasuk yang terbarukan.

## B.3. Pola Operasi dan Perawatan

Nama Alat	Keterangan/Uraian
1	
2	
3	
n	

## B.4. Salinan Dokumen

- Diagram alir proses (*process flow diagram - PFD*);
- Salinan dokumen modifikasi proses yang pernah dilakukan;
- Salinan Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure (SOP)*;

## Lampiran 1-8

### Lembar Isian Sistem *Chiller*

#### I DATA PRIMER

				Satuan	Pembacaan
A	Kelistrikan				
	1	Listrik chiller periodik	Arus	A	
			Tegangan	V	
			Daya	kW	
			Daya reaktif	kVAr	
			Faktor daya		
			Energi	kW	
			Energi reaktif	kVArh	
	2	Listrik chiller sesaat	Arus	A	
			Tegangan	V	
			Daya	kW	
			Faktor daya		
	3	Kestabilan daya			
B	Termal				
	1	Evaporator chiller	Temperatur air masuk	°C	
			Temperatur air keluar	°C	
			Laju aliran air	l/menit	
	2	Kondenser chiller tipe <i>water-cooled</i>	Temperatur air masuk	°C	
			Temperatur air keluar	°C	
			Laju aliran air	l/menit	
	3	Kondenser chiller tipe <i>air-cooled</i>	Temperatur udara luar	°C	
			Temperatur udara masuk	°C	
			Temperatur udara keluar	°C	
	4	Menara pendingin	Temperatur udara luar	°C	
			Kelembaban udara luar	%	
			Temperatur udara masuk	°C	
			Kelembaban udara masuk	%	
			Temperatur udara keluar	°C	
			Kelembaban udara keluar	%	
C	Pelengkap				
	1	Penurunan tekanan pada evaporator	Tekanan air masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
			Tekanan air keluar	kg/cm <sup>2</sup>	
	2	Penurunan tekanan pada kondenser	Tekanan air masuk	kg/cm <sup>2</sup>	
			Tekanan air keluar	kg/cm <sup>2</sup>	
	3	Data kerja refrigeran	Temperatur atas refrigeran	°C	
			tekanan atas refrigeran	kg/cm <sup>2</sup>	
			Temperatur bawah refrigeran	°C	
			tekanan bawah refrigeran	kg/cm <sup>2</sup>	

4	Layar panel chiller	Temperatur pengaturan	°C	
		<i>Temperature approach</i>	°C	
	Semua data listrik, termal dan pelengkap sebagai pembanding			

## II. DATA SEKUNDER

- a. *As built drawing* yang mencakup gambar diagram sistem chiller, *layout* instalasi, dan daftar peralatan;
- b. Dokumen spesifikasi teknik chiller;
- c. Dokumen awal operasional chiller (data komisioning);
- d. Catatan rutin operasional chiller;
- e. Riwayat perbaikan dan penggantian chiller.

## Lampiran 1-9

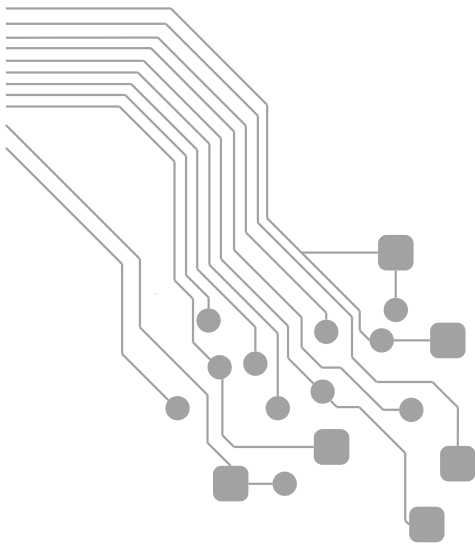
### Lembar Isian Sistem Pompa

#### I DATA PRIMER

Nama Pompa	Posisi	Fluida				Kelistrikan			
		Laju Alir, [ton/jam]	Temp, [°C]	Tekanan, [kg/cm <sup>2</sup> ]	Head, [m]	Arus, [A]	Voltase, [V]	Cos $\Phi$	Energi, [kVA]
.....	Masuk								
	Keluar								
.....	Masuk								
	Keluar								
.....	Masuk								
	Keluar								
.....	Masuk								
	Keluar								
.....	Masuk								
	Keluar								
.....	Masuk								
	Keluar								

#### II. DATA SEKUNDER

- Jumlah dan spesifikasi masing-masing pompa;
- Model atau pola operasi unit-unit pompa tersebut di atas;
- Salinan catatan operasi (*logsheet* atau *logbook*) unit-unit pompa selama 3 bulan terakhir;
- Dokumen perawatan atau modifikasi yang pernah dilakukan;
- Permasalahan-permasalahan yang sering muncul akhir-akhir ini;
- Prosedur Operasi Baku atau *Standard Operating Procedure* (SOP);
- Hasil uji kinerja (*performance test*) pada saat “komisioning” menjelang serah terima unit-unit pompa.



## LAMPIRAN - 2

# Daftar Konversi Satuan

### A. Konversi Umum

DAYA				
1	Btu/Jam	=	0,293091	Watt
1	Horsepower (HP)	=	745,7	Watt
1	horsepower (HP)	=	550	ft.lb/det
1	horsepower (HP)	=	0,70697	Btu/detik
1	horsepower (HP) (AS)	=	42,418	Btu/menit
1	kW	=	56,88	Btu/menit
1	kW	=	1,34	HP
1	kW	=	1,4	PK ( <i>paardenkracht</i> )
1	Watt	=	3,41	Btu/jam
1	Watt	=	1	Joule/detik
1	Watt	=	0,8599	kcal/jam
1	Watt	=	0,7376	ft-lbf/detik

ENERGI				
1	British thermal unit (Btu)	=	1.055,06	Joule atau N.m
1	Btu	=	252	cal
1	Btu	=	2,93E-4	kWh
1	Btu	=	1.055	Joule
1	Btu	=	778,17	ft-lbf
1	Btu	=	1,055E+10	erg
1	calorie (cal)	=	1,5591E-6	HP-h
1	calorie (cal)	=	1,16E-6	kWh
1	calorie (cal)	=	4,1868	Joules
1	calorie (cal)	=	4,19E+7	erg
1	calorie (cal)	=	3,088	ft.lbf
1	calorie (cal)	=	0,0413	liter- atm
1	erg	=	1E-7	Joule
1	erg	=	2,78E-14	kWh
1	erg	=	2,39E-11	kcal
1	erg	=	7,38E-8	ft-lbf
1	erg	=	9,48E-11	Btu
1	foot-pound-force (ft-lbf)	=	1,35582	Joule

1	foot-pound-force (ft-lbf)	=	1,36E+7	erg
1	foot-pound-force (ft-lbf)	=	3,77E-7	kWh
1	foot-pound-force (ft-lbf)	=	3,24E-4	kcal
1	foot-pound-force (ft-lbf)	=	1,29E-3	Btu
1	Horsepower-hour (HP.h)	=	2.545,08	Btu
1	Joule	=	1	N.m
1	Joule	=	1	Watt.det
1	Joule	=	0,7376	ft-lbf
1	Joule	=	9,48E-4	Btu
1	Joule	=	1E+7	erg
1	Joule	=	0,23889	cal
1	Joule	=	2,78E-7	kWh
1	kilowatt-jam (kWh)	=	3.600.000	Joule atau N.m
1	kilowatt-jam (kWh)	=	3.412,14	Btu
1	kilowatt-jam (kWh)	=	859.845	cal
1	kilowatt-jam (kWh)	=	3,6E+13	erg
1	kilowatt-jam (kWh)	=	2.655.220	ft-lbf
1	liter-atm	=	24,218	cal
1	SBM	=	5,8	GJ
1	SCF Gas Bumi	=	1,75E-4	SBM
1	therm	=	1,06E+5	kJ
1	therm	=	1E+5	Btu
1	ton oil equivalent (toe)	=	10	Gcal
1	ton oil equivalent (toe)	=	11,63	MWh

#### KAPASITAS PANAS SPESIFIK

1	Btu/lb.F	=	1	kcal/kg.K
1	Btu/lb.F	=	4.186,8	J/kg.K
1	Joule/kg.K	=	2,39E-4	kcal/kg.K
1	Joule/kg.K	=	2,39E-4	Btu/lb.F
1	kcal/kg.K	=	1	Btu/lb.F
1	kcal/kg.K	=	4.186,8	J/kg.K

#### KECEPATAN

1	feet per day (ft/day)	=	3,52E-4	cm/det
1	foot per detik (ft/det)	=	0,3048	m/det
1	foot per detik (ft/det)	=	1,09728	km/jam
1	foot per detik (ft/det)	=	0,681818	mil/jam (mph)
1	foot per detik (ft/det)	=	0,592484	knot (kn)
1	kilometer per jam (km/h)	=	0,277778	m/det
1	kilometer per jam (km/h)	=	0,911344	ft/det
1	kilometer per jam (km/h)	=	0,621371	mil/jam (mph)
1	kilometer per jam (km/h)	=	0,539967	knot (kn)
1	knot (kn or kt)	=	0,51479	m/det
1	knot (kn or kt)	=	1,85325	km/jam
1	knot (kn or kt)	=	1,6889	ft/det
1	knot (kn or kt)	=	1,15155	mil/jam (mph)
1	mach (ma)	=	331	m/detik
1	meter per detik (m/det)	=	3,6	km/jam
1	meter per detik (m/det)	=	3,28034	ft/detik
1	meter per detik (m/det)	=	2,23694	mil/jam (mph)

1	meter per detik (m/det)	=	1,94384	knot (kn)
1	mil perjam (mph)	=	0,447028	m/det
1	mil per jam (mph)	=	1,60934	km/hr
1	mil perjam (mph)	=	1,46667	ft/det
1	mil per jam (mph)	=	0,868976	knot (kn)
1	pound per linear foot (plf)	=	1,488	kg/m

LUAS				
1	acre (ac atau A)	=	4.046,86	m <sup>2</sup>
1	acre (ac)	=	0,4047	hectare (ha)
1	are (a)	=	100	m <sup>2</sup>
1	centimeter persegi (cm <sup>2</sup> )	=	0,0001	m <sup>2</sup>
1	foot persegi (ft <sup>2</sup> )	=	0,092903	m <sup>2</sup>
1	foot persegi (ft <sup>2</sup> )	=	144	ln <sup>2</sup>
1	foot persegi (ft <sup>2</sup> )	=	0,11111	yd <sup>2</sup>
1	foot persegi (ft <sup>2</sup> )	=	3,59E-8	mil <sup>2</sup>
1	hectare (ha)	=	10.000	m <sup>2</sup>
1	inch persegi (in <sup>2</sup> )	=	6,45E-4	m <sup>2</sup>
1	inch persegi (in <sup>2</sup> )	=	6,94E-3	ft <sup>2</sup>
1	inch persegi (in <sup>2</sup> )	=	7,72E-4	yd <sup>2</sup>
1	inch persegi (in <sup>2</sup> )	=	2,49E-10	mil <sup>2</sup>
1	kilometer persegi (km <sup>2</sup> )	=	1E+6	m <sup>2</sup>
1	meter persegi (m <sup>2</sup> )	=	1.550	ln <sup>2</sup>
1	meter persegi (m <sup>2</sup> )	=	10,7639	ft <sup>2</sup>
1	meter persegi (m <sup>2</sup> )	=	1,19599	yd <sup>2</sup>
1	meter persegi (m <sup>2</sup> )	=	3,86E-7	mil <sup>2</sup>
1	mil persegi (mil <sup>2</sup> )	=	2.589.846	m <sup>2</sup>
1	mil persegi (mil <sup>2</sup> )	=	4.014,49	in <sup>2</sup>
1	mil persegi (mil <sup>2</sup> )	=	27.378.400	ft <sup>2</sup>
1	mil persegi (mil <sup>2</sup> )	=	3.097.600	yd <sup>2</sup>
1	millimeter persegi (mm <sup>2</sup> )	=	1E-6	m <sup>2</sup>
1	yard persegi (yd <sup>2</sup> )	=	0,8361	m <sup>2</sup>
1	yard persegi (yd <sup>2</sup> )	=	1.296	ln <sup>2</sup>
1	yard persegi (yd <sup>2</sup> )	=	9	ft <sup>2</sup>
1	yard persegi (yd <sup>2</sup> )	=	3,23E-7	mil <sup>2</sup>

MASSA JENIS				
1	pound per cubic foot (pcf)	=	16,01846	kg/m <sup>3</sup>
1	pound per cubic yard (lb/cu yd)	=	0,5933	kg/m <sup>3</sup>
1	dram-troy (dr)	=	3,89E-3	kg
1	kg/m <sup>3</sup>	=	0,001	g/cm <sup>3</sup>
1	kg/m <sup>3</sup>	=	3,61E-5	lb/in <sup>3</sup>
1	kg/m <sup>3</sup>	=	0,06243	lb/ft <sup>3</sup>

MASSA				
1	grain (gr)	=	6,48E-5	kg
1	gram (g)	=	1E-3	kg
1	gram (g)	=	1E-4	myriagram
1	gram (g)	=	15,4324	grain
1	milligram (mg)	=	1E-6	kg

1	ounce (oz)	=	0,0283495	kg
1	ounce-apothecaries (oz)	=	0,03083	kg
1	carat (ct; metrik)	=	0,2	gram
1	carat (ct; metrik)	=	3,08648	grain
1	cental	=	100	pound
1	dram-apothecaries-US (dr)	=	3,70E-6	kg
1	kg	=	2,20462	lb
1	kg	=	0,06852	slug
1	kg	=	35,27	oz
1	kg	=	9,84E-4	ton (UK, long)
1	lb	=	0,45359	kg
1	ounce-troy (troz)	=	0,0311035	kg
1	pennyweight (dwt atau pwt)	=	1,56E-3	kg
1	pound (lb atau #) avoirdupois	=	0,453592	kg
1	pound (lb atau #) avoirdupois	=	0,03108	slug
1	pound (lb atau #) avoirdupois	=	16	oz
1	pound (lb atau #) avoirdupois	=	4,46E-4	ton (UK, long)
1	sheet	=	6,48E-4	kg
1	slug	=	14,59	kg
1	slug	=	32,17	lb
1	slug	=	514,79	oz
1	slug	=	0,01436	ton (UK, long)
1	ton long (t atau tn)	=	1.016	kg
1	ton-long (t atau tn)	=	2.240	lb
1	ton-long (t atau tn)	=	1,12	ton short
1	ton short (t)	=	907,2	kg
1	ton-short	=	2.000	lb
1	ton-metric (t atau tn)	=	1.000	kg
1	ton (metrik)	=	2.205	lb
1	ton (metrik)	=	1,102	ton short atau net
1	kip (kilo-pound = 1000 lb)	=	453,6	kilogram (kg)

PANJANG/JARAK				
1	cubit	=	18	inchi
1	caliber (cal)	=	0,000254	m
1	centimeter (cm)	=	0,01	m
1	centimeter (cm)	=	10.000	micron
1	centimetre [cm]	=	0,3937	in
1	chain (ch)	=	20,1168	m
1	decimeter (dm)	=	0,1	m
1	furlong (fur)	=	201,17	m
1	furlong (fur)	=	0,125	mil
1	furlong (fur)	=	40	rod
1	furlong (fur)	=	220	yard
1	Angstrom units (A°)	=	1E-10	m
1	Astronomical units	=	1,495E+8	km
1	cubit	=	1,5	feet
1	Ells	=	114,3	cm
1	Ells	=	45	inchi
1	foot (ft or ')	=	0,3048	m
1	foot (ft or ')	=	12	in



1	foot (ft or ')	=	0,3333	yard
1	foot (ft or ')	=	1,89E-4	mile
1	foot (ft or ')	=	0,00151515	furlong
1	foot (ft or ')	=	0,0606061	rod
1	inch (in or ")	=	0,0254	m
1	inch (in or ")	=	83,3333E-3	ft
1	inch (in or ")	=	27,78E-3	yard
1	inch (in or ")	=	15,78E-6	mile
1	kilometer (km)	=	1.000	m
1	kilometre (km)	=	0,6214	mile
1	meter (m)	=	1,0936	yard (yd)
1	meter (m)	=	39,3701	inchi (in)
1	meter (m)	=	3,28084	feet (ft)
1	meter (m)	=	6,21E-4	mile (darat = statue)
1	meter (m)	=	5,39593E-4	mile (laut = nautical)
1	meter (m)	=	0,198838	rod
1	meter (m)	=	0,00497096	furlong
1	micron ( $\mu$ )	=	1,0E-6	m
1	mil (darat = statue)	=	1,609347	km
1	mil (darat)	=	63.360	Inchi
1	mil (darat)	=	5.280	feet
1	mil (darat)	=	1.760	yard
1	mil (darat)	=	0,86836	mil (laut)
1	mil (laut = nautical)	=	1,85325	km
1	mil (laut = nautical)	=	1,1516	mil (darat)
1	millimeter (mm)	=	0,001	m
1	nanometer (nm)	=	1E-9	m
1	parsec (pc)	=	3,084E+15	m
1	point (pt)	=	3,53E-4	m
1	tahun cahaya (light-year = ly)	=	9,4637E+12	km
1	tahun cahaya (light-year = ly)	=	5,88E+12	mil
1	yard (yd)	=	0,9144	m
1	yard (yd)	=	36	inchi
1	yard (yd)	=	3	feet
1	yard (yd)	=	5,68E-4	mile

TEKANAN				
1	atmosfer (atm)	=	29,92	in Hg
1	atmosfer (atm)	=	101.325	Pa (Pascal)
1	atmosfer (atm)	=	101.325	N/m <sup>2</sup>
1	atmosfer (atm)	=	760	mm Hg
1	atmosfer (atm)	=	1.033	cm H <sub>2</sub> O
1	atmosfer (atm)	=	14,696	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
1	atmosfer (atm)	=	1,0333	kg/cm <sup>2</sup>
1	atmosfer (atm)	=	1,0133	bar
1	atmosfer (atm)	=	33,899	ft air
1	atmosfer (atm)	=	1,01325E+6	dyne/cm <sup>2</sup>
1	bar	=	100	kPa
1	bar	=	100.000	Pa atau N/m <sup>2</sup>
1	bar	=	14,5038	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
1	bar	=	750	mm Hg

1 bar	=	0,986923	atm
1 centimeter mercury (cmHg)	=	1.333	kg/m.det <sup>2</sup> (Pa)
1 in Hg	=	3.386,28	kg/m.det <sup>2</sup> atau Pa
1 in H <sub>2</sub> O	=	249,061	kg/m.det <sup>2</sup> atau Pa
1 kPa	=	9,87E-3	atm
1 kPa	=	10,1974	cm H <sub>2</sub> O
1 kPa	=	4,01474	in H <sub>2</sub> O
1 kPa	=	0,2953	in Hg
1 kPa	=	0,145038	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
1 kPa	=	20,8854	lbf/ft <sup>2</sup>
1 mmHg (0 °C)	=	133,32	Pa
1 mmH <sub>2</sub> O	=	9,81	Pa
1 Pascal (Pa)	=	10	dyne/cm <sup>2</sup>
1 Pascal (Pa)	=	10	micro bar
1 Pascal (Pa)	=	1	N/m <sup>2</sup>
1 Pascal (Pa)	=	1E-5	bar
1 Pascal (Pa)	=	9,87E-6	atm
1 Pascal (Pa)	=	1,45E-4	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
1 pound per square foot (psf)	=	4,8824	kg/m <sup>2</sup>
1 pound per square foot (psf)	=	47,88	pascal (Pa)
1 pound per square inch (psi)	=	6.894,757	pascal (Pa)
1 pound per square inch (psi)	=	6,895E-3	megapascal (MPa)
1 psi	=	0,0689	bar
1 torr	=	1,33E-3	bar

#### VISKOSITAS DINAMIS DAN KINEMATIS

1 N.det/m <sup>2</sup>	=	1	kg/det.m
1 N.det/m <sup>2</sup>	=	10	poise (P)
1 N.det/m <sup>2</sup>	=	0,671969	lb/ft.det.
1 poise	=	1	g/cm.dt
1 poise	=	0,1	N.det/m <sup>2</sup>
1 poise	=	6,72E-4	lb/ft.det
1 pound per foot.det (lb/ft.det)	=	1,48816	N.det/m <sup>2</sup>
1 pound per foot.det (lb/ft.det)	=	14,8816	poise
1 centipoise	=	1/BJ	centistokes
1 centipoise	=	2,42	lb/ft.hr
1 centipoise	=	0,01	g/(at) (cm)
1 centipoise	=	6,72E-4	lb/(dt) (ft)
1 centipoise	=	2,42	lb/(hr) (ft)
1 foot persegi/det (ft <sup>2</sup> /det)	=	0,0929	m <sup>2</sup> /det
1 foot persegi/det (ft <sup>2</sup> /det)	=	929,03	Stoke (St)
1 m <sup>2</sup> /det	=	10.000	Stoke
1 m <sup>2</sup> /det	=	10,7639	ft <sup>2</sup> /det
1 Stoke (St)	=	1	cm <sup>2</sup> /s
1 Stoke (St)	=	1,08E-3	ft <sup>2</sup> /det

#### VOLUME

1 barel	=	159	liter
1 barel Minyak Mentah	=	0,14	ton metrik
1 barrel (AS)	=	0,15898	m <sup>3</sup>

1	barrel (AS)	=	42	gallon (AS)
1	barrel (AS)	=	35	imperial gallon
1	barrel (AS)	=	158,9	liter
1	barrel-dry (bbl)	=	0,115627	m <sup>3</sup>
1	barrel-fluid (bbl)	=	0,11924	m <sup>3</sup>
1	barrel-oil (bo)	=	0,158987	m <sup>3</sup>
1	barel/hari	=	50	ton/th
1	bushel-dry (bu)	=	0,0352381	m <sup>3</sup>
1	centimeter kubik (cm <sup>3</sup> )	=	1E-6	m <sup>3</sup>
1	Cup (c)	=	0,236587E-3	m <sup>3</sup>
1	dram-fluid (dr)	=	3,70E-6	m <sup>3</sup>
1	drop (gtt)	=	8,33E-8	m <sup>3</sup>
1	fluid ounce (fl oz)	=	29,57353	milliliters (ml)
1	fluid ounce (fl oz)	=	2,96E-5	m <sup>3</sup>
1	foot kubik (ft <sup>3</sup> )	=	0,0283168	m <sup>3</sup>
1	foot kubik (ft <sup>3</sup> )	=	1.728	in <sup>3</sup>
1	foot kubik (ft <sup>3</sup> )	=	0,03704	yd <sup>3</sup>
1	foot kubik (ft <sup>3</sup> )	=	6,2288	gallon (UK)
1	foot kubik (ft <sup>3</sup> )	=	7,4805	gallon (US)
1	gallon (gal) UK	=	4,5459631	liter (= dm <sup>3</sup> )
1	gallon (gal) UK	=	4,55E-3	m <sup>3</sup>
1	gallon (gal) UK	=	277,42	in <sup>3</sup>
1	gallon (gal) UK	=	0,1605	ft <sup>3</sup>
1	gallon (gal) UK	=	5,95E-3	yd <sup>3</sup>
1	gallon (gal) UK	=	1,20094	gallon US
1	gallon (gal) U.S.	=	3,785338	liter
1	gallon (gal) U.S	=	3,79E-3	m <sup>3</sup>
1	gallon (gal) U.S.	=	231	in <sup>3</sup>
1	gallon (gal) U.S	=	0,133681	ft <sup>3</sup>
1	gallon (gal) U.S.	=	4,95E-3	yd <sup>3</sup>
1	gallon (gal) U.S	=	0,832675	gallon UK
1	inchi kubik (in <sup>3</sup> )	=	1,639E-5	m <sup>3</sup>
1	inchi kubik (in <sup>3</sup> )	=	5,79E-7	ft <sup>3</sup>
1	inchi kubik (in <sup>3</sup> )	=	2,14E-5	yd <sup>3</sup>
1	inchi kubik (in <sup>3</sup> )	=	3,61E-3	gallon (UK)
1	inchi kubik (in <sup>3</sup> )	=	4,33E-3	gallon (US)
1	kiloliter (kl)	=	6,29	barel
1	kilometer kubik (km <sup>3</sup> )	=	1E+9	m <sup>3</sup>
1	liter	=	0,2642	gallon (AS)
1	liter (lt)	=	0,001	m <sup>3</sup>
1	liter (lt)	=	0,035316	ft <sup>3</sup>
1	meter kubik (m <sup>3</sup> )	=	61.023,7	in <sup>3</sup>
1	meter kubik (m <sup>3</sup> )	=	35,3147	ft <sup>3</sup>
1	meter kubik (m <sup>3</sup> )	=	1,30795	yd <sup>3</sup>
1	meter kubik (m <sup>3</sup> )	=	219,97	gallon (UK)
1	meter kubik (m <sup>3</sup> )	=	264,17	gallon (US)
1	millimeter kubik (mm <sup>3</sup> )	=	1E-9	m <sup>3</sup>
1	ounce-fluid (floz)	=	2,96E-5	m <sup>3</sup>
1	peck-US (pk)	=	8,81E-3	m <sup>3</sup>
1	pint (pt)	=	4,73E-4	m <sup>3</sup>
1	pint-dry (pt)	=	5,51E-4	m <sup>3</sup>
1	quart-dry (qt)	=	1,10E-3	m <sup>3</sup>

1	quart-fluid (qt)	=	9,46E-4	m <sup>3</sup>
1	tablespoonful (tbsp)	=	1,5E-5	m <sup>3</sup>
1	teaspoonful (tsp)	=	5E-6	m <sup>3</sup>
1	yard kubik (yd <sup>3</sup> )	=	0,7645549	m <sup>3</sup>
1	yard kubik (yd <sup>3</sup> )	=	46.656	ln <sup>3</sup>
1	yard kubik (yd <sup>3</sup> )	=	27	ft <sup>3</sup>
1	yard kubik (yd <sup>3</sup> )	=	168,18	gallon (UK)
1	yard kubik (yd <sup>3</sup> )	=	201,97	gallon (US)

Sumber: [1] (<http://n93.cs.fiu.edu/measures>) © Copyright FIU-HPDRC, 1999.

[2] (<http://www.wsdot.wa.gov/metrics/factors.htm>)

[3] (<http://www.french-property.com/ref/convert.htm>)

[4] Lange, Norbert Adolph, Ph.D. (Editor). 1946. *Perry, Handbook of Chemistry*. Ohio: Handbook Publishers, Inc.

## B. Konversi Setara Barel Minyak (SBM)

Batubara				
1	ton	Antrasit	=	4,9893 SBM
1	ton	Batubara Impor	=	4,2766 SBM
1	ton	Batubara Kalimantan	=	4,2766 SBM
1	ton	Batubara Ombilin	=	4,8452 SBM
1	ton	Batubara Tanjung Enim	=	3,7778 SBM
1	ton	Lignit	=	3,0649 SBM
1	ton	Gambut Riau	=	2,5452 SBM
1	ton	Briket Batubara	=	3,5638 SBM

Biomassa				
1	ton	Arang Kayu	=	4,9713 SBM
1	ton	Kayu Bakar	=	2,2979 SBM
1	MSCF	Gas Alam	=	0,1796 SBM

Produk Gas				
1	ribu kcal	Gas Kota	=	0,0007 SBM
1	ribu kcal	CNG ( <i>Compressed Natural Gas</i> )	=	0,0007 SBM
1	ton	LNG ( <i>Liquefied Natural Gas</i> )	=	8,0532 SBM
1	MMBTU	LNG ( <i>Liquefied Natural Gas</i> )	=	0,1796 SBM
1	ton	LPG ( <i>Liquefied Petroleum Gas</i> )	=	8,5246 SBM

Minyak				
1	barrel	Kondensat	=	0,9545 SBM
1	barrel	Minyak Bumi	=	1,0000 SBM

Bahan Bakar Minyak				
1	kilo-liter	Avgas ( <i>Aviation Gasoil</i> )	=	5,5530 SBM
1	kilo-liter	Avtur ( <i>Aviation Turbine Gas</i> )	=	5,8907 SBM
1	kilo-liter	Super TT	=	5,8275 SBM
1	kilo-liter	Premix	=	5,8275 SBM
1	kilo-liter	Premium	=	5,8275 SBM
1	kilo-liter	Mimyak Tanah	=	5,9274 SBM
1	kilo-liter	ADO ( <i>Automotive Diesel Oil</i> )	=	6,4871 SBM
1	kilo-liter	IDO ( <i>Industrial Diesel Oil</i> )	=	6,6078 SBM
1	kilo-liter	FO ( <i>Fuel Oil</i> )	=	6,9612 SBM

Produk Minyak Bumi					
1	barrel	Produk Minyak Bumi Lainnya	=	1,0200	SBM

Bahan Bakar Kilang					
1	barrel	RFG ( <i>Refinery Fuel Gas</i> )	=	1,6728	SBM
1	barrel	RFO ( <i>Refinery Fuel Oil</i> )	=	1,1236	SBM
1	barrel	Feed Stock	=	1,0423	SBM

1	MWh	Panas Bumi	=	1,5937	SBM
1	MWh	Tenaga Air	=	1,5937	SBM
1	MWh	Tenaga Listrik	=	0,6130	SBM

### C. Konversi Setara Ton Minyak (*Ton Oil Equivalent = TOE*)

1	ton	Minyak (bumi)	=	41,9 Giga Joule (GJ)
			=	1,15 kilo-liter minyak bumi (kl minyak bumi)
			=	39,68 million British Thermal Unit (MMBTU)
			=	11,63 Megawatt-hour (MWh)

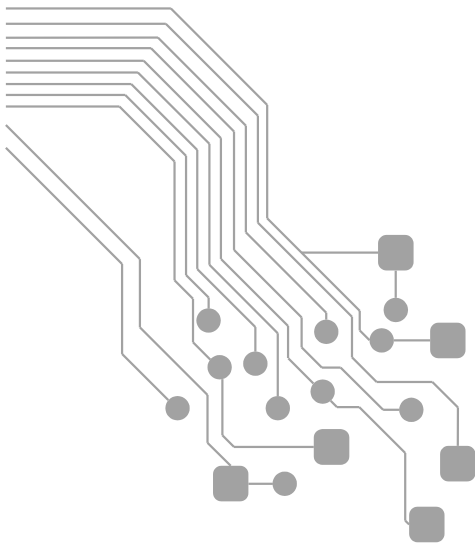
(Sumber: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi. Jakarta, 16 November 2009).

### D. Nilai Kalori Bahan Bakar

Bahan Bakar	Lower Heating Value (LHV)		Higher Heating Value (HHV)		Densitas
	BTU/ft <sup>3</sup>	MJ/kg	BTU/ft <sup>3</sup>	MJ/kg	
Gas pada T 0 °C dan P 1 atm					gram/ft <sup>3</sup>
Gas Alam	983	47,14	1.089	52,225	22
Hidrogen	290	120,21	343	142,18	2,55
Still Gas ( <i>Refineries</i> )	1.458	46,898	1.584	50,951	32,8
Cair	BTU/gal	MJ/kg	BTU/gal	MJ/kg	gram/ft <sup>3</sup>
Minyak Bumi	129.670	42,686	138.350	45,543	3.205
Conventional gasoline	116.090	43,448	124.340	46,536	2.819
Reformulated or low sulfur gasoline	113.602	42,358	121.848	45,433	2.830
CA reformulated gasoline	113.927	42,5	122.174	45,577	2.828
U.S. Conventional diesel	128.450	42,791	137.380	45,766	3.167
Low-Sulfur diesel	129.488	42,612	138.490	45,575	3.206
Petroleum Naphtha	116.920	44,938	125.080	48,075	2.745
NG-Based FT Naphtha	111.520	44,383	119.740	47,654	2.651
Minyak Residu	140.353	39,466	150.110	42,210	3.752
Metanol	57.250	20,094	65.200	22,884	3.006
Etanol	76.330	26,952	84.530	29,847	2.988
Butanol	99.837	34,366	108.458	37,334	3.065
Acetone	83.127	29,589	89.511	31,862	2.964

<i>E-Diesel Additives</i>	116.090	43,48	124.340	46,536	2.819
<i>Liquefied petroleum gas (LPG)</i>	84.950	46,607	91.410	50,152	1.923
<i>Liquefied Natural Gas (LNG)</i>	74.720	48,632	84.820	55,206	1.621
<i>Dimethyl Eter (DME)</i>	68.930	28,882	75.610	31,681	2.518
<i>Dimethoxy methane (DMM)</i>	72.200	23,402	79.197	25,670	3.255
<i>Methyl Ester (Biodiesel, BD)</i>	119.550	37,528	127.960	40,168	3.361
<i>Fischer-Tropsch diesel (FTD)</i>	123.670	43,247	130.030	45,471	3.017
<i>Renewable Diesel I (SuperCetane)</i>	117.059	43,563	125.294	46,628	2.835
<i>Renewable Diesel II (UOP-HDO)</i>	122.887	43,979	130.817	46,817	2.948
<i>Renewable Gasoline</i>	115.983	43,239	124.230	46,314	2.830
Hydrogen Cair	30.500	120,07	36.020	141,8	268
<i>Methyl tertiary butyl ether (MTBE)</i>	93.540	35,108	101.130	37,957	2.811
<i>Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)</i>	96.720	36,315	104.530	39,247	2.810
<i>Tertiary amyl methyl ether (TAME)</i>	100.480	36,392	108.570	39,322	2.913
Butana	94.970	45,277	103.220	49,210	2.213
Isobutana	90.060	44,862	98.560	49,096	2.118
Isobutilena	95.720	4,824	103.010	48,238	2.253
Propana	84.250	46,296	91.420	50,235	1.920
<b>Padat</b>	<b>BTU/ton</b>	<b>MJ/kg</b>	<b>BTU/ton</b>	<b>MJ/kg</b>	
<i>Batubara (wet basis)</i>	19.546.300	22.732	20.608.570	23.968	
<i>Batubara Bituminus (wet basis)</i>	22.460.600	26.122	23.445.900	27.267	
<i>Coking Coal ( wet basis)</i>	24.600.497	28.610	25.679.670	29.865	
<i>Farmed trees (dry basis)</i>	16.811.000	19.551	17.703.170	20.589	
<i>Herbaceous biomass (dry basis)</i>	14.797.555	17.209	15.582.870	18.123	
<i>Corn stover (dry basis)</i>	14.075.990	16.370	14.974.460	17.415	
<i>Forest residue ( dry basis)</i>	13.243.490	15.402	14.164.160	16.473	
Ampas Tebu	12.947.318	15.058	14.062.678	16.355	
<i>Petroleum coke</i>	25.370.000	29.505	26.920.000	31.308	

Sumber: GREET, *The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use In Transportation Model*, GREET 1.8d.1, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released August 26, 2010.



## LAMPIRAN - 3

# Daftar Singkatan

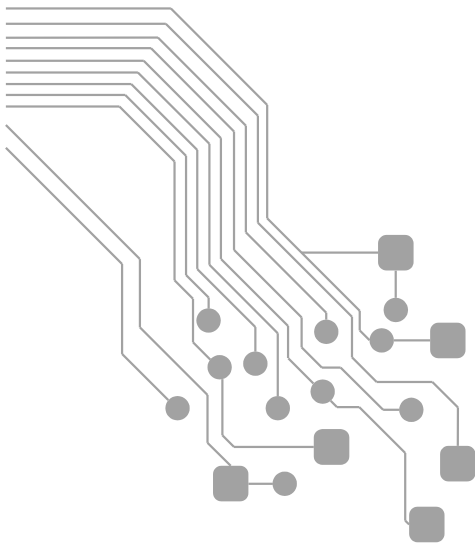
AC	: <i>Alternating Current, Air Conditioning</i> [99], [337]
AE	: <i>Annual Equivalent</i> [58]
AI	: <i>Artificial Intelligence</i> [294]
ASHRAE	: <i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> [345]
ASME	: <i>American Society of Mechanical Engineering</i> [151]
B2TE	: Balai Besar Teknologi Energi [12]
Bakoren	: Badan Koordinasi Energi Nasional [10]
BPPT	: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi [12]
BS	: <i>British Standard</i> [151]
CO	: Karbonmonoksida [144]
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksida [144]
COP	: <i>Coefficient of Performance</i> (COP) [343], [444]
CT	: <i>Current Transformer</i> [82]
DC	: <i>Direct Current</i> [99]
DJLPE	: Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi [12]
DOE	: <i>Department of Energy</i> (Amerika Serikat) [262]
EMC	: <i>Electromagnetic Compability</i> [98]
EMI	: Energy Management Indonesia, PT(Persero) [12]
EnPi	: <i>Energy Performance Indicator</i> [443]
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral [11]
EWT	: <i>Entering Water Temperature</i> [365]
FS	: <i>Feasibility Study</i> [67]
Gcal	: Giga-calorie [64]

GCV	: <i>Gross Calorific Value</i> [153]
GDP	: <i>Gross Domestic Product</i> [5]
GERIAP	: <i>Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific</i> [151]
GJ	: <i>Giga Joule</i> [3]
GW	: <i>Giga-Watt</i> [7]
GWh	: <i>Giga-Watt-hour</i> [64]
HE	: <i>Heat Exchanger</i> [296]
HEN-D	: <i>Heat Exchanger Network Design</i> [310]
HHV	: <i>Higher Heating Value</i> [224]
IDO	: <i>Industrial Diesel Oil</i> [4]
IEA	: <i>International Energy Agency</i> [294]
Inpres	: <i>Instruksi Presiden Republik Indonesia</i> [10]
IRR	: <i>Internal Rate of Return</i> [58], [114]
ITB	: <i>Institut Teknologi Bandung</i> [12]
JTET	: <i>Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi</i> [7]
JTM	: <i>Jaringan Tegangan Menengah</i> [70]
JTR	: <i>Jaringan Tegangan Rendah</i> [70]
JTT	: <i>Jaringan Tegangan Tinggi</i> [70]
K-3	: <i>Keselamatan dan Kesehatan Kerja</i> [27], [78]
KEN	: <i>Kebijakan Energi Nasional</i> [5]
Keppres	: <i>Keputusan Presiden Republik Indonesia</i> [10]
Koneba	: <i>Konservasi Energi Abadi, PT (Persero)</i> [12]
KUBE	: <i>Kebijakan Umum Bidang Energi</i> [10]
kV	: <i>kilo-Volt</i> [70]
kVArh	: <i>kilo-Volt-Ampere reactive-hour</i> [86]
kWh	: <i>kilo-Watt-hour</i> [7], [90]
LCC	: <i>Life Cycle Costs</i> [387]
LIPI	: <i>Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia</i> [12]
LWBP	: <i>Luar Waktu Beban Puncak</i> [86]
LWT	: <i>Leaving Water Temperature</i> [365]
MARR	: <i>Minimum Attractive Rate of Return</i> [377]
MEN	: <i>Mass Exchange Network</i> [301]
MJ	: <i>Mega-Joule</i> [56]
MMBTU	: <i>million British Thermal Unit</i> [3]
MSA	: <i>Mass Separating Agent</i> [301]
MW	: <i>Mega-Watt</i> [70]
MWh	: <i>Megawatt-hour</i> [3]
NAIMA	: <i>North American Insulation Manufacturers Association</i> [271]



NCV	: <i>Net Calorific Value</i> [159]
NPSH	: <i>Net Positive Suction Head</i> [148]
NPV	: <i>Net Present Value</i> [58], [114]
O <sub>2</sub>	: Oksigen [144]
PBP	: <i>Pay-back period</i> [114];
PD	: <i>Positive displacement</i> [384]
PDB	: Produk Domestik Bruto [6]
PDCA	: <i>Plan - Do - Check - Action</i> [424], [432]
Permen ESDM	: Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI [11]
Perpres	: Peraturan Presiden Republik Indonesia [11]
pf	: <i>power factor</i> [86]
PFD	: <i>Process Flow Diagram</i> [262]
PI	: <i>Profitability Index</i> [58]
PIC	: <i>person in charge</i> [47]
PLTA	: Pembangkit Listrik Tenaga Air [70]
PLTD	: Pembangkit Listrik Tenaga Diesel [70]
PLTG	: Pembangkit Listrik Tenaga Gas [70]
PLTGU	: Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap [70]
PLTP	: Pembangkit Listrik Tenaga Panas-Bumi [70]
PLTS	: Pembangkit Listrik Tenaga Surya [70]
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap [70]
PP	: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia [1]
PPJ	: Pajak Penerangan Jalan [86]
PRV	: <i>pressure reducing valve</i> [250]
PT PLN	: Perseroan Terbatas Perusahaan Listrik Negara [70]
PTC	: <i>Power Test Code</i> [151]
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i> [99]
ROI	: <i>Return on Investment</i> [114];
SBM	: setara barrel minyak [5]
SEU	: <i>Significant Energy Use</i> [441]
SF	: <i>Service Factor</i> [109]
SLD	: <i>single line diagram</i> [71]
SME	: Sistem Manajemen Energi [430]
SNI	: Standar Nasional Indonesia [13]
SOCC	: <i>Social opportunity cost of capital</i> [374]
SOP	: <i>Standard Operating Procedure</i> [52]
SSST	: <i>Steam System Scooping Tools</i> [262]
STM (SMK)	: Sekolah Teknik Menengah (Sekolah Menengah Kejuruan) [74]
TDS	: <i>Total Dissolved Solid</i> [144]

THD-I	: THD-I ( <i>Total Harmonic Distorsion-Intensité/Current</i> ) [80]
TMA	: Titik Mati Atas [199]
TMB	: Titik Mati Bawah [199]
TOE	: <i>Tonne Oil Equivalent</i> [7]
TR	: <i>Tonne of Refrigerant</i> [361]
TÜV	: <i>Technischer Überwachungsverein</i> [12]
UPT-LSDE	: Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Suber Daya Energi [12]
UU	: Undang-Undang Republik Indonesia [1]
VFD	: <i>Variable Frequency Drive</i> [389]
VSD	: <i>variabel speed drive</i> [73]
WBP	: Waktu Beban Puncak [86]
WHRB	: <i>Waste Heat Recovery Boiler</i> [286]



# LAMPIRAN - 4

## Format

## Laporan Manajemen Energi

## di Industri

LAMPIRAN  
PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR : 14 TAHUN 2012  
TANGGAL : 29 MEI 2012  
TENTANG : MANAJEMEN ENERGI

### FORMAT PELAPORAN UNTUK INDUSTRI

#### A. INFORMASI UMUM PERUSAHAAN

Nama Perusahaan	...
Alamat Perusahaan	Kabupaten/Kota : ...
	Provinsi : ...
Nomor Telepon	...
Nomor Faksimili	...
Subsektor Industri	<input type="checkbox"/> Besi dan baja <input type="checkbox"/> Pupuk
	<input type="checkbox"/> Tekstil <input type="checkbox"/> Semen
	<input type="checkbox"/> Kertas <input type="checkbox"/> Lainnya
Tahun Awal Beroperasi	...
Jumlah Karyawan	...

## B. ORGANISASI MANAJEMEN ENERGI

NAMA	STATUS		KETERANGAN
	ADA	TIDAK	
Organisasi Manajemen Energi	...	...	Jika ada, lampirkan struktur organisasinya dan/atau Surat Keputusan Pembentukannya
Manajer Energi	...	...	Jika ada, Nama : ...
Manajer Energi Bersertifikat	...	...	Jika ada, Nama : ...
			No. Sertifikat : ...

## C. JUMLAH PRODUKSI TAHUN 20.....

JENIS PRODUK *)	JUMLAH	SATUAN
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

- \*) - Contoh jenis produk industri baja dapat berupa *hot rolled coils/plat, cold rolled coils/sheets, wire rod*, dan lain-lain dengan satuan produksi ton;  
 - Contoh jenis produk industri tekstil dapat berupa kain dengan satuan m<sup>2</sup> dan benang dengan satuan ton;  
 - Contoh jenis produk industri kertas dapat berupa kertas industri, kertas tulis cetak, kertas tisu, dan lain-lain dengan satuan ton;  
 - Contoh jenis industri semen dapat berupa *ordinary portland cement, white cement, oil well cement*, dan lain-lain dengan satuan ton.

## D. JUMLAH PEMAKAIAN ENERGI TAHUN 20.....

JENIS ENERGI	JUMLAH PEMAKAIAN ENERGI	
	DALAM SATUAN ASLI *)	DALAM GIGA JOULE **)
LISTRK PLN	...	...
BBM	...	...
GAS	...	...
BATUBARA	...	...
LAINNYA	...	...
TOTAL	...	...

- \*) Contoh satuan asli:            listrik                                : GWh (Giga Watt hour)  
    minyak diesel                : liter  
    batubara                        : ton

gas : MSCF (*million standard cubic feet*)

\*\*) Perhitungan konversi dari satuan asli ke Giga Joule (GJ) disesuaikan dengan nilai kalori masing-masing jenis energi.

Contoh faktor konversi: 1 GWh listrik = 3.600 GJ  
 1 liter Minyak Diesel = 37,90 GJ  
 1 ton Batubara = 24,53 GJ  
 1 MSCF Gas = 1,03 GJ

#### E. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK TAHUN 20....

		Tahun Sebelumnya [A]	Tahun Ini [B]	Pertumbuhan [B - A]/A
C	Pemakaian Energi, [GJ]	...	...	...
D	Produksi *)	...	...	...
[C/D]	Konsumsi Energi Spesifik, [GJ/*]	...	...	...

\*) Misalnya, untuk: Industri Baja : ton baja  
 Industri Tekstil : ton benang dan/atau m<sup>2</sup> kain  
 Industri Kertas : ton kertas  
 Industri Semen : ton semen

#### F. PERALATAN PEMANFAAT ENERGI UTAMA TAHUN 20....

Jenis Peralatan Pemanfaat Energi Utama *)	Jenis Energi	Jumlah Pemakaian Energi	
		Dalam Satuan Asli	Dalam GJ
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

\*) Peralatan yang menggunakan energi dalam jumlah besar, antara lain *boiler*, tungku, kogenerasi, motor listrik, kompresor, pompa, *fan*, dan lain-lain.

#### G. KEGIATAN KONSERVASI ENERGI YANG TELAH DILAKUKAN

Kegiatan	Target Penghematan		Realisasi		Keterangan (Hambatan, dll)
	Energi, [GJ]	%	Energi, [GJ]	%	
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

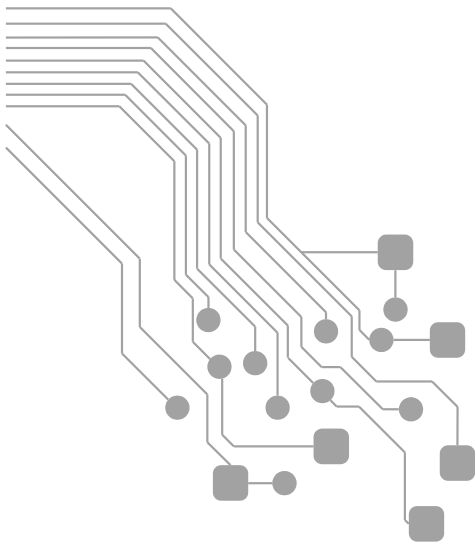
#### H. RENCANA KEGIATAN KONSERVASI ENERGI

Kegiatan	Target Penghematan		Keterangan (Jadwal, dll)
	Energi, [GJ]	%	
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

#### I. AUDIT ENERGI PADA PERALATAN PEMANFAAT ENERGI UTAMA

Jenis Peralatan Pemanfaat Energi Utama	Status		Keterangan (Nama dan Nomor Sertifikat Auditor Energi, Waktu Pelaksanaan, dll)
	Sudah *)	Belum	
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

\*) Jika sudah dilaksanakan, mohon lampirkan rekomendasi hasil audit energi.



## LAMPIRAN - 5

# Daftar Kegiatan dan Pelatihan Audit Energi BPPT di Industri

### 1. AUDIT ENERGI

No	Tahun	Perusahaan	Lokasi	Bisnis
1	1990 1996 1999	PT Dayasempurna Cellulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh)	Bekasi, Jawa Barat (Jabar)	Kertas
2	1990	PD Dharmajaya (Rumah Pemotongan Hewan/RPH)	Cakung, Jakarta	Pemotongan Hewan
3	1990 1992	PT Kumafiber	Tangerang, Banten	Tekstil
4	1991	PT Goodyear Indonesia	Bogor, Jabar	Ban
5	1991	PT Sapto Selaras	Pulogadung, Jakarta	Tekstil
6	1991 2011	PG Subang (PT PG Rajawali II)	Purwakarta, Jabar	Gula
7	1992	PT Sarana Kemas Utama	Pulogadung, Jakarta	Kertas
8	1992	PT Tetra Indotama Packaging	Tangerang, Banten	Kertas
9	1992 1993 2001 2002 2003 2004	PT Krakatau Steel	Cilegon, Banten	Baja
10	1993	PT Daejindo Metal	Bogor, Jabar	Baja
11	1993	PT Delima Jaya	Bogor, Jabar	Baja

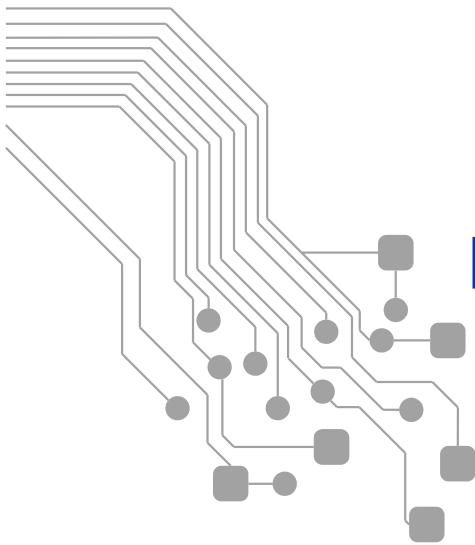
12	1993	PT Tae Hwa Indonesia	Tangerang, Banten	Baja
13	1994	PT Kertas Kraft Aceh	Lhokseumawe, Aceh	Kertas
14	1995	PT Argo Pantes	Tangerang, Banten	Tekstil
15	1999	PT PLN (PLTU Suralaya)	Merak, Banten	Listrik
16	2003	PT South Pacific Viscous	Karawang, Jabar	Tekstil
17	2003	PG Tjoekir, (PTPN X)	Jombang, Jawa Timur (Jatim)	Gula
18	2004	PT PLN (PLTD Kendari)	Kendari, Sulawesi Tenggara	Listrik
19	2004	PG Madukismo (PT Madu Baru)	Yogyakarta, DIY	Gula
20	2004 2010	PG Pagottan, (PTPN XI)	Madiun, Jatim	Gula
21	2006	PT Pakerin	Mojokerto, Jatim	Kertas
22	2006	PT Adiprima	Gresik, Jatim	Kertas
23	2006	PT Ispatindo	Surabaya, Jatim	Baja
24	2006	PT Surabaya Wire	Gresik, Jatim	Baja
25	2006	PT Semen Padang	Padang, Sumatera Barat	Semen
26	2006	PT Semen Gresik	Gresik, Jatim	Semen
27	2006	PT Semen Tonasa	Tonasa, Sulawesi Selatan (Sulsel)	Semen
28	2006	PG Pandjie, (PTPPN XI)	Situbondo, Jatim	Gula
29	2006	PG Gending, (PTPPN XI)	Probolinggo, Jatim	Gula
30	2008	Pabrik Teh Malabar (PTPN VIII)	Pengalengan, Jabar	Teh
31	2008	Pabrik Teh Kertamanah (PTPN VIII)	Pengalengan, Jabar	Teh
32	2010	PG Jatitujuh (PT PG Rajawali II)	Majalengka, Jabar	Gula
33	2010	PG Tersana Baru (PT PG Rajawali II)	Cirebon, Jabar	Gula
34	2010	PG Karangsuwung (PT PG Rajawali II)	Cirebon, Jabar	Gula
35	2010	PG Pradjekan (PTPPN XI)	Bondowoso,, Jatim	Gula
36	2010	PG Asembagoes (PTPN XI)	Situbondo, Jatim	Gula
37	2010	PG Soedhono (PTPN XI)	Madiun, Jatim	Gula
38	2010	Pertamina RU-5	Balikpapan, Kalimantan Timur	Minyak
39	2010	PG Ngadiredjo (PTPN X)	Kediri, Jatim	Gula



40	2010 2012	PG Sragi (PTPN IX)	Pekalongan, Jawa Tengah (Jateng)	Gula
41	2010	PG Kribet Baru (PT PG Rajawali I)	Malang, Jatim	Gula
42	2010	PG Redjo Agung Baru (PT PG Rajawali I)	Madiun, Jatim	Gula
43	2010	PG Lestari (PTPN X)	Kertosono, Jatim	Gula
44	2010	PG Pesantren Baru (PTPN X)	Kediri, Jatim	Gula
45	2010	PG Gempolkrep (PTPN X)	Mojokerto, Jatim	Gula
46	2011	PG Gondang Baru (PTPN IX)	Klaten, Jateng	Gula
47	2011	PG Sumberharjo (PTPN IX)	Pemalang, Jateng	Gula
48	2011	PG Kedawoeng (PTPN XI)	Pasuruan, Jatim	Gula
49	2011	PG Djatiroto (PTPN XI)	Lumajang, Jatim	Gula
50	2011	PG Semboro (PTPN XI)	Jember, Jatim	Gula
51	2011	PG Kremboong (PTPN X)	Sidoarjo, Jatim	Gula
52	2012	PG Bunga Mayang (PTPN VII)	Lampung	Gula
53	2012	Pabrik Kelapa Sawit Pabatu (PTPN IV)	Pabatu, Sumut	Minyak Sawit
54	2013	PT Pupuk Sriwijaya	Palembang, Sumatera Selatan	Pupuk
55	2013	PT Pupuk Kujang	Cikampek, Jabar	Pupuk
56	2013	PT Pupuk Kalimantan Timur	Bontang, Kalimantan Timur	Pupuk
57	2013	PT PZ Cussons Indonesia	Tangerang, Banten	Sabun
58	2013	PT Great Giant Pineapple	Lampung	Makanan
59	2013	Pabrik Kelapa Sawit Tanah Seribu	Ogan Komering Ulu (OKU) Timur, Sumsel	Minyak Sawit
60	2013	PT Citra Borneo Indah (Pabrik Kelapa Sawit Sulung)	Kalteng	Minyak Sawit
61	2013	PDAM Tirtajaya	Stabat, Sumut	Air Minum
62	2013	PT Panasonic	Cikarang, Jabar	Alat Elektronik
63	2015	PT Hanil Jaya Steel	Sidoarjo, Jatim	Baja
64	2015	PT Ispat Bukit Baja	Bogor, Jabar	Baja
65	2015	PT Jakarta Cakratunggal Steel Mill	Jakarta	Baja

## 2. PELATIHAN AUDIT ENERGI

No	Tahun	Perusahaan	Lokasi	Bisnis
1	1995	Berbagai perusahaan (PT)	Puspiptek, Tangerang Selatan (d.h Serpong)	
2	1996	Berbagai perusahaan (PT)	Puspiptek, Tangerang Selatan (d.h Serpong)	
3	2001	PT Inalum	Asahan, Sumatera Utara	Aluminium
4	2003	Berbagai instansi pemerintah	Puspiptek, Tangerang Selatan (d.h Serpong)	
5	2008	PT Sucofindo	Puspiptek, Tangerang Selatan (d.h Serpong)	Jasa Konsultan
6	2009	PT Semen Gresik, Tbk	Bandung, Jawa Barat	Semen
7	2013	PLTU Muara Tawar (PT Pembangkitan Jawa-Bali)	Bekasi, Jawa Barat	Listrik
8	2013	PT Pembangkitan Jawa-Bali	Surabaya, Jatim	Listrik
9	2013	PT Asahimas	Cilegon, Banten	Bahan Kimia
10	2014	PT Krakatau Posco	Puspiptek, Tangerang Selatan (d.h Serpong)	Baja



## LAMPIRAN - 6

### Daftar Penulis (Kontributor)

[Disusun Menurut Abjad]

1.



**Diding Fahrudin**

Kontribusi: Bab 8 (Penulis Kedua).

Lahir di Jakarta, 07 November 1958. NIP 19581107-198503-1-003. Pendidikan: STMN Mesin (Tasikmalaya). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) tahun 1985 pada unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Konversi Termal-Mekanik, Direktorat Konversi dan Konservasi Energi (KKE). Pada tahun 1988 mutasi ke unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Konversi Termal-Mekanik, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi (PTKKE), Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi (UPT-LSDE). Pada tahun 2004 mutasi ke unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi (AOE), Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi (B2TE). Pengalaman audit energi, antara lain di beberapa pabrik gula, pabrik kertas, dan pabrik teh. Kontak: fadi\_tamala@yahoo.com, didingf@gmail.com.

2.



**Enny Rosmawar Purba**

Kontribusi: Bab 6 (Penulis Utama).

Lahir di Sinaksak (Sumatera Utara), 22 November 1976. NIP 19761122-200112-2-003. Pendidikan: Strata-1 (Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Medan), Strata-2 (Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Jakarta). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2001 pada unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi (AOE), Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi (B2TE). Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan

Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi (LSP- HAKE) tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di PLTD di P. Batam, Pabrik Gula (PG) Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PG Pagottan (Madiun), PG Gending (Probolinggo), PG Pandjie (Situbondo), Sektor Industri: Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca di Asia Pasifik (Program GERIAP: BPPT - KLH), Rumah Sakit Pondok Indah (Jakarta), PT Semen Padang, PT Semen Tonasa, PT Semen Gresik, PT Pertamina RU-V (Balikpapan), PT GGP (Lampung), Gedung BPPT, dan Industri Minyak Sawit. Kontak: m4w4r\_at@yahoo.com, m4w4r.at@gmail.com.

3.



**Hadi Surachman**

Kontribusi: Bab 10 (Penulis Kedua).

Lahir di Surabaya, 11 Maret 1970. NIP 19700311-199603-1-001. Pendidikan: Strata-1 (Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya). Strata-2 (Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1996 pada unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Konversi Termal-Mekanik, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Pengkajian Teknologi Konversi Termal-Mekanik, Bidang Energi Terbarukan, Balai Besar Teknologi Energi (B2TE). Kontak: hadis70@yahoo.com, hadis1970@gmail.com.

4.



**Hariyanto**

Kontribusi: Bab 6 (Penulis Kedua), Bab 7 (Penulis Kedua), dan Bab 10 (Penulis Utama).

Lahir di Wonogiri (Jawa Tengah), 01 Maret 1970. NIP 19700301-199412-1-002. Pendidikan: Strata-1 (Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya). Strata-2 (Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Jakarta). Strata-3 (Teknik Kimia, *Technical University Munich* - Universitas Indonesia (*Sandwich Program*)). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1994 pada unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di PT Krakatau Steel (Cilegon), PT Dayasempurna Celulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh, Bekasi), PG Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC). Kontak: hariyt@yahoo.com.

5.



**Hari Yurismo**

Kontribusi: Bab 5 (Penulis Utama) dan Bab 9.

Lahir di Bantul (Yogyakarta), 12 April 1962. NIP 19620412-198812-1-003. Pendidikan: Strata-1 (Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta), Strata-2 (Teknik Mesin, *University of New South Wales*, Australia). Mulai

bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1988 pada unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Kimiawi dan Pembakaran, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di PT Krakatau Steel (Cilegon), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang). Pengalaman Pengajar Pelatihan Audit Energi: Univ. Udayana (Denpasar, Bali), Univ. Sam Ratulangi (Manado), Univ. Diponegoro (Semarang), PLTU Muara Tawar (PT Pembangkitan Jawa Bali, Bekasi), PT Pembangkitan Jawa Bali (Surabaya), PT Asahimas Chemical (Cilegon).

Kontak: hari.yurismo@bppt.go.id, yurismo@gmail.com.

6.



**Heru Eka Prawoto**

Kontribusi: Bab 5 (Penulis Kelima).

Lahir di Jombang (Jawa Timur), 01 Januari 1981. NIP 19810101-200810-1-001. Pendidikan: SMEA Al-Amanah, Tangerang Selatan. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2000 pada unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian

Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain di PG Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC).

Kontak: heru.eka@bppt.go.id, ekaheru@rocketmail.com.

7.



**Louis**

Kontribusi: Bab 3 (Penulis Keempat).

Lahir di Jakarta, 03 April 1961. NIP. 19610403-198510-1-001. Pendidikan: STM Pembangunan Negeri Jakarta, Teknik Elektro. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1985 pada unit kerja

Subbidang Rekayasa, Direktorat Konversi dan Konservasi Energi (KKE). Pada tahun 1988 mutasi ke unit kerja Subbidang Rekayasa, Bidang Jasa

dan Informasi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 mutasi ke unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain di beberapa pabrik gula, pabrik kertas, dan pabrik teh. Kontak: louistamar@yahoo.com.

8.



**Muhammad Akbar Hipi**

Kontribusi: Bab 4 (Penulis Kedua).

Lahir di Ujung Pandang (Sulawesi Selatan), 11 April 1987. NIP 19870411-201402-1-003 Pendidikan: Strata-1, Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin (Makassar). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2014

pada unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi (AOE), Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi (B2TE).

Kontak: muhammadkbr779@gmail.com

9.



**Nur Rachman Iskandar**

Kontribusi: Editor, Bab 1, Bab 2, & Bab 5 (Penulis Ketiga).

Lahir di Jakarta, 07 Mei 1959. NIP 19590507-198703-1-002. Pendidikan: Strata-1, Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

tahun 1986 pada unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Kimiawi dan Pembakaran, Direktorat Konversi dan Konservasi Energi. Pada tahun 1988 mutasi ke unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain di PT Krakatau Steel (Cilegon), PT Dayasempurna Celulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh, Bekasi), PT Kertas Kraft Aceh (Lhokseumawe), beberapa pabrik gula [a.l PG Tjoekir (Jombang), PG Madukismo (Yogyakarta), PG Pagottan (Madiun), PG Gending (Probolinggo), PG Sei Semayang (Deli Serdang, Sumatera Utara), dan PG Kwala Madu (Langkat, Sumatera Utara)], Pabrik Teh Kertamanah, Pabrik Teh Malabar (Jawa Barat), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang). Pengalaman Pengajar Pelatihan Audit Energi: PT Sucofindo (Persero), PT Semen Gresik Tbk., Univ. Udayana (Denpasar, Bali), Univ. Sriwijaya (Palembang), Univ. Hasanuddin (Makassar), Universitas Sumatera Utara (Medan), Politeknik Negeri Batam (Batam), ITS (Surabaya), Univ. Sam Ratulangi (Manado), dan Univ. Diponegoro (Semarang), PLTU Muara Tawar (PT Pembangkitan Jawa Bali, Bekasi), PT Pembangkitan Jawa Bali (Surabaya), PT Asahimas Chemical (Cilegon).

Kontak: nur.iskandar@bppt.go.id, nur\_iskandar@yahoo.com.

10.



**Pratiwi**

Kontribusi: Bab 7 (Penulis Utama).

Lahir di Surabaya, 25 Februari 1984. NIP 19840225-200912-2-002. Pendidikan: Stara-1 Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2009 pada unit kerja Subbidang Rekayasa, Instrumentasi, dan Kalibrasi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain beberapa pabrik gula, Pertamina Unit Balikpapan. Kontak: teewee@yahoo.com.

11.



**Pudjo Wahono Hadi**

Kontribusi: Bab 4 (Penulis Utama) & Bab 5 (Penulis Kedua).

Lahir di Surabaya, 30 September 1960. NIP 19600930-198812-1-001. Pendidikan: Strata-1, Teknik Mesin, ITS, Surabaya. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, tahun 1988 pada unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di Pabrik Kertas PT Kumafiber (Tangerang), Pabrik Ban PT Good Year (Bogor), Gedung BCA (Jakarta), RS Pondok Indah (Jakarta), Pabrik Sepatu PT Venus Mustika Buana (Sukabumi), PT Krakatau Steel (Cilegon), PT Dayasempurna Celulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh, Bekasi), Pabrik Kertas PT Kertas Kraft Aceh (Lhokseumawe), RSAB Harapan Kita (Jakarta), PG Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PG Pagottan (Madiun), PG Gending (Probolinggo), PG Pandjie (Situbondo), PLTD Kendari, PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; Audit Sistem HVAC), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang). Pengalaman Pengajar Pelatihan Audit Energi: Univ. Hasanuddin (Makassar), ITS (Surabaya), PT Asahimas Chemical (Cilegon). Kontak: pudjowh@gmail.com.

12.



**Rendi Januardi**

Kontribusi: Bab 8 (Penulis Ketiga).

Lahir di Jakarta, 24 Januari 1992. NIP 19920124-201012-1-001. Pendidikan: STM Mesin. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2010 pada unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang). Kontak: rendi.januardi@bppt.go.id, renditrivntra@gmail.com.

13.



**Sarwo Turinno**

Kontribusi: Bab 3 (Penulis Kedua).

Lahir di Jakarta, 14 Februari 1984. NIP 19840214-200901-1-004. Pendidikan: Diploma-III, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2009 pada unit kerja Sub-bidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi), PT Pertamina RU-V (Balikpapan), PG Pagottan (Madiun), PG Soedono (Magetan), PG Redjo Agung (Madiun), PG Karangsuwung (Cirebon), PG Tersana Baru (Cirebon), PG Jatitujuh (Majalengka), Industri Minyak Sawit, Hotel Parklane (Jakarta), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang), dan Gedung BPPT (Jakarta).  
Kontak: sarwo.turinno@bppt.go.id, awo\_barca@yahoo.com.

14.



**Soleh**

Kontribusi: Bab 5 (Penulis Keempat).

Lahir di Bogor, 11 Oktober 1960. NIP 19601011-198803-1-002. Pendidikan: Strata-1 (Teknik Industri Universitas Indonesia, Jakarta), Strata-2 (Teknik Industri, Universitas Indonesia, Jakarta). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1988 pada unit kerja Kelompok Pengkajian Teknologi Konversi Termal -Mekanik, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi dan Subbagian Urusan Dalam, Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 1992 mutasi ke unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain di PT Krakatau Steel (Cilegon), PT Dayasempurna Celulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh, Bekasi), PG Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PG Pagottan (Madiun), PG Gending (Probolinggo), PLTD Kendari, PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang).  
Kontak: sarfaul@yahoo.com.

15.



**Sudirman Palaloi**

Kontribusi: Bab 3 (Penulis Utama).

Lahir di Sidrap (Sulawesi Selatan), 17 Juni 1967. NIP. 19670617-199211-1-001. Pendidikan: Strata-1 Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin (Makassar), Strata-2, Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin (Makassar). Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi pada tahun 1992 pada unit kerja Kelompok Sistem Teknologi Energi, Balai Pengkajian Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Unit



Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi. Pada tahun 2004 unit kerja tersebut berganti nama menjadi Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Asesor Auditor dan Manager Energi di Industri dan Bangunan yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2012. Pengalaman audit energi, antara lain di PT Krakatau Steel (Cilegon), PT Dayasempurna Celulosatama (d.h PT Kertas Bekasi Teguh, Bekasi), PG Madukismo (Yogyakarta), PG Tjoekir (Jombang), PG Pagottan (Madiun), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang), Gedung BPPT (Jakarta), PT Semen Indonesia (Tonasa, Indarung), PT Indocement Tunggal Prakarsa (Cirebon), PKS Sawit Seberang (Langkat), PKS Sei Pagar (Riau), PKS Tanah Seribu (Sumsel), PKS Sulung (Pangkalan Bun), PDAM Tirtanadi (Medan) dan PDAM Tirta Kertaraharja (Tangerang), Pabrik Teh (Pangalengan), Pabrik Baja BTS (Jakarta), PT LG Electric (Bekasi), PT Essar (Bekasi), PT Spindo (Surabaya), PT Semen Baturaja (Sumsel). Pengalaman Pengajar Pelatihan Audit Energi: PT Semen GG (Semen Indonesia), Univ. Udayana (Denpasar, Bali), Univ. Hasanuddin (Makassar), Universitas Sumatera Utara (Medan), Univ. Sam Ratulangi (Manado), PLTU Muara Tawar (PT Pembangkitan Jawa Bali, Bekasi), PT Pembangkitan Jawa Bali (Surabaya), PT Asahimas Chemical (Cilegon).  
Kontak: palaloi@yahoo.com.

16.



**Yasmin**

Kontribusi: Bab 8 (Penulis Utama).

Lahir di Jakarta, 09 Oktober 1980. NIP 19801009-200801-1-011. Pendidikan: Strata-1, Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2008 pada unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Pengalaman audit energi, antara lain di Gedung Manggala Wanabhakti (Jakarta), Pabrik Teh Malabar dan Kertamanah (Bandung), Gedung BPPT (Jakarta), Gedung Graha Widya Bhakti, Puspiptek (Tangerang Selatan), PLTP Chevron Gunung Salak (Sukabumi, Jawa Barat; audit sistem HVAC), PLTU Paiton, PT Panarub Dwikarya (Adidas, Tangerang), Hotel Park Lane (Jakarta), dan PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang). Pengalaman Pengajar Pelatihan Audit Energi: Univ. Sriwijaya (Palembang), Universitas Sumatera Utara (Medan), Politeknik Negeri Batam (Batam). Kontak: yasmin8080@yahoo.com.

17.



**Zulramadhanie**

Kontribusi: Bab 3 (Penulis Ketiga).

Lahir di Balikpapan, 26 Mei 1986. NIP 19860526-201012-1-002. Pendidikan: Strata-1, Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2010 pada unit kerja Subbidang Analisis dan Optimasi Energi, Bidang

Efisiensi Energi, Balai Besar Teknologi Energi. Yang bersangkutan juga pemegang Sertifikat Auditor Energi Industri yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Sertifikasi Profesi melalui Lembaga Sertifikasi Profesi - Himpunan Ahli Konservasi Energi tahun 2014. Pengalaman audit energi, antara lain di PLTU Paiton (Unit 5), Hotel Park Lane (Jakarta), PT Pupuk Kaltim (Pabrik 3, Bontang), PT PZ Cussons Indonesia (Tangerang), Gedung BPPT (Jakarta).

Kontak: zulramadhanie@gmail.com, zhul.rd86@rocketmail.com.



# INDEKS

## A

*Adjustable speed drive* [388]  
Ahli HVAC [348]  
Air boiler [147]  
Air Heater [164]  
    ~ *preheater* [161]  
Aksial [385]  
Albert Thumann [13]  
Aliran dingin [299]  
    ~ *panas* [299]  
Alternator [203]  
Altivar [99]  
Analisis awal tekno ekonomi [57]  
    ~ *Ultimate* [150]  
ASHRAE [344]  
ASME PTC-4-1 [151]  
ASME Pump [402]  
*Assessment Standard & Guidance Document* [402]  
Audit energi [12]  
    ~ *awal* [13]  
    ~ *rinci* [13]  
    ~ *singkat* [13]  
Auditor energi [3]  
*Auto ignition temperature* [198]

## B

B2TE [12]  
Badan Koordinasi Energi Nasional (Bakoren) [10]  
Bahan bakar [129]  
*Baseline* [387], [444]

Belitan motor [110]  
Bernoulli [396]  
*Best practice* [284]  
Biaya energi [276]  
    ~ *pembangkitan uap* [277]  
Blowdown Losses [287]  
    ~ *water* [144], [173]  
Boiler [128]  
    air umpan ~ [129]  
    Benson ~ [134]  
    klasifikasi ~ [129]  
    La-Mont ~ [134]  
    Loeffer ~ [134]  
    Portable ~ [133]  
    ~ "paket" [130]  
    ~/Ketel Pipa Air [132]  
    ~/Ketel Pipa Api [130]  
*Boundary* [391]  
BPPT [12]  
*British Standard (BS 845: 1987)* [151]  
Budaya hemat Energi [10]  
*burner* [160]  
*Busbar* [83]

## C

*Capacitor bank* [90]  
*Centrifugal* [383]  
Chiller [337]  
    ~ *absorpsi* [338]  
    ~ *brine* - [338]

~ kompresi [338]  
*Circuit Breaker* [83]  
*Clamp-on Power Meter* [77]  
*Coefficient of performance (COP)* [343]  
Computer calculation capacity - CCC [295]  
 ~ *Simulation* [13]  
*Condensate Recovery* [172], [242]  
 Contoh rekomendasi [285]  
*Cost* [114]  
*Current Tranformer* [74]  
*Cut off Ratio* [205]

## D

*Darcy friction factor* [397]  
 Darcy Weisbach [394]  
Data awal informasi industri [25]  
 ~ historis [27], [151]  
 ~ sekunder [27]  
Daya listrik *chiller* [343]  
 ~ reaktif [95]  
*Decommissioning* [387]  
 Dhole [295]  
 Diagram Sankey [56], [156], [264]  
 Diesel-generator [197]  
*Difuser* [384]  
*Digital Multimeter* [77]  
*Discharge* [384]  
 Distribusi panas [269]  
 DJLPE [12]

## E

*Economiser* [161]  
Efisiensi Boiler [151]  
 ~ Diesel-generator [223]  
 ~ Energi [428]  
 ~ Termal [204]  
 Ekspansi secara isentropis [202]  
 Elastisitas energi [7]  
*Elbows* [397]  
 El-Halwagi MM [294]  
 Enam ribu setara ton minyak per tahun [2]  
*Energy Performance Indicator (EnPi)* [443]  
 Entalpi [240]

*Entering Water Temperature = EWT* [365]  
*Enthalpy* [286]  
*Expansion joints* [397]

## F

*Facility Manager* [430]  
*Feed water* [129], [287]  
*Feeder* [81]  
*Fire Tube Boiler* [130]  
*Firing rate* [157], [160]  
*Flash Tank* [248]  
Flowmeter elektrik [138]  
 ~ mekanik/rotary gear atau impeller [138]  
Flue Gas [161]  
 ~ Losses [287]  
*Force Circulation Steam Boiler* [134]  
 Format laporan [58]  
*Fuel Moisture Content* [287]  
 Fuji [99]

## G

Gas analyser orsat/pyrite [138]  
 ~ analyser testo electric [138]  
 ~ buang [129], [144]  
*Gear box/reducer* [99]  
 GERIAP [151]

## H

Harmonik [97]  
 Hazen Williams [394]  
*Heat Exchanger Network Design = HEN-D* [310]  
*Heat loss* [276]  
 Hidrokarbon [340]  
 Higrometer [138], [150]  
 Hitachi [99]

## I

*Incoming power* [81]  
Inpres No 13 Tahun 2011 [11]  
 ~ No. 2 Tahun 2008 [11]  
 ~ No. 9 Tahun 1982 [10]  
 ~ No. 10 Tahun 2005 [11]

Instalasi *chiller* [341]  
Integrasi proses [294]  
Intensitas energi [7]  
*Intensité* [80]  
*Interface* [388]  
*Internal Rate of Return (IRR)* [114]  
*Inverter* [81]  
Isolator termal [244]

## J

Jadwal rinci audit energi [30]  
Jaringan penukar panas [294]  
~ Tegangan Ekstra Tinggi (JET) [70]  
~ Tegangan Menengah (JTM) [70]  
~ Tegangan Rendah (JTR) [70]  
~ Tegangan Tinggi (JTT) [70]  
Jenuh (*saturated*) [240]

## K

Kamera Infra-merah termografi [77]  
Kapasitas *chiller* [343]  
~ terpasang [70]  
Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) [146]  
~ monoksida (CO) [146]  
Katup Pengurang Tekanan (*Let-Down*) [242]  
Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) [10]  
~ energi [435]  
Kehilangan (*Losses*) Energi [261]  
~ Uap [266]  
Kelebihan Udara (*Excess Air*) [157]  
Kepedulian (*Awareness*) [447]  
Keputusan ESDM No. 0002 Tahun 2004  
~ ESDM No. 4051 K/07/MEM/2013 [11]  
Keppres No.46 Tahun 1980 [10]  
Ketel [128]  
~ Babcock & Wilcox [134]  
~ Clarkson [133]  
~ Cochran [133]  
~ *Cornishe* [133]  
~ *Lancashire* [133]  
~ *Lancashire* [134]  
~ Mendatar (*Horizontal Steam Boiler*) [133]  
~ Mobil (*Mobile Boiler*) [133]

~ Pindah [133]  
~ Stasioner [133]  
~ Tegak [133]  
Kinerja *chiller* [343]  
~ mesin diesel [203]  
Komisioning [151]  
Komitmen [432]  
Kompensator daya reaktif [72]  
Komponen urutan negatif [108]  
~ urutan positif [108]  
Kompresi isentropis [201]  
Kompresor *chiller* [340]  
Kondensat [129]  
Konsep Dasar *Pinch* [296]  
Konsumsi uap spesifik [237]  
Kontrak daya [71]  
Konverter [99]  
Koordinator [75]  
Kualifikasi Anggota Tim Audit Energi [32]  
Kualitas Uap [240]  
Kuesioner [84]  
Kurva Head System [398]  
Kurva komposit [298]  
kVArh [86]

## L

Lampu T5 [113]  
~ T8 [113]  
Langkah Buang [200]  
~ Ekspansi [199]  
~ Kompresi [199]  
~ Pemasukan atau Hisap [199]  
*Lead Auditor* [75]  
*Leaving Water Temperature* = LWT [365]  
Lembar Isian Data Awal Informasi Industri [26]  
~ Sistem Boiler [34]  
~ Sistem *Chiller* [35]  
~ Sistem Diesel Generator [34]  
~ Sistem Distribusi Uap [35]  
~ Sistem integrasi proses [35]  
~ Sistem Kelistrikan [33]  
~ Sistem Manajemen Energi [33]  
~ Sistem Pompa [36]

Lembar kerja [151]  
Lewat jenuh (*superheated*) [240]  
LG [99]  
Linnhoff [294]  
LIPI [12]  
Luar Waktu Beban Puncak atau LWBP [86]  
*Luxmeter* [77]

## M

*Makeup water* [129], [287]  
Manajemen energi [2], [18], [84], [426]  
Manajer energi [2]  
~ tim [18], [33]  
Menara pendingin [341]  
Mesin Diesel [198]  
~ Diesel empat langkah [199]  
~ pendingin [337]  
Metode langsung (*direct efficiency*) [151]  
~ Tidak Langsung (*Indirect Efficiency*) [154]  
Mitsubishi [99]  
Modifikasi proses [309]  
Motor DC [99]  
~ listrik [73]  
~ Pompa [389]  
~ sinkron [99]  
*Muller Curve* [164]

## N

*Natural Circulation Steam Boiler* [134]  
Neraca energi [55], [156], [209], [264]  
~ massa [209], [264]  
~ panas [156]  
*Net Present Value (NPV)* [114]  
Nilai Investasi [114]  
NOx [146]

## O

Oksigen (O<sub>2</sub>) [146]  
Omron [99]  
*Onion diagram* [294]  
*Outgoing* [81]

## P

*Package boiler* [130]  
*Pay-back period method (PBP)* [114]  
Panas Hilang [268]  
Pelindung keselamatan (*safety*) [36]  
Pembangkit tenaga listrik [70]  
Pemodelan (*Modelling*) [280]  
Pendekatan empiris [266]  
Pengerakan [357]  
Penggulungan ulang [111]  
Pengukuran [51]  
penukar panas (*heat exchanger*) [341]  
Penyulang [81]  
Penyusunan laporan [287]  
Peralatan audit energi [36]  
Perbaikan Isolasi [268]  
Perencanaan energi [436]  
*Performance test* [151]  
Perlengkapan K-3 [42]  
Permen ESDM No. 1 Tahun 2013 [11]  
~ ESDM No. 13 Tahun 2012 [1]  
~ ESDM No. 14 Tahun 2012 [11]  
~ ESDM No. 15 Tahun 2012 [11]  
Perpres No. 26 Tahun 2008 [11]  
~ No. 5 Tahun 2006 [11]  
~ No. 61 Tahun 2011 [11]  
*Pinch Heat Recovery* [294]  
PLTD [70]  
PLTG [70]  
PLTGU [70]  
PLTP [70]  
PLTS [70]  
PLTU [70]  
*Positive displacement* [383]  
*Power Analyser* [76]  
PP Nomor 70 Tahun 2009 [2]  
*Pre-screening* [387]  
Presentasi [67]  
*Pressure head* [384]  
Profil beban harian [93]  
Proposal audit energi [30]  
PT Energy Management Indonesia (EMI)(Persero) [12]

PT Konservasi Energi Abadi (Koneba)(Persero) [12]

PT PLN (Persero) [70]

PWM (*Pulse Width Modulation*) [99]

## R

*Radial* [385]

*Radiation Losses* [287]

Rasio Elektrifikasi [8]

~ penggunaan gas [8]

*Reciprocating* [384]

*Reducers/expanders* [397]

*Reflux* kolom distilasi [309]

Refrigeran [338]

Rencana Tindak (*Action Plan*) [445]

*Reservoir* [386]

*retrofit* [296]

*Return Condensate* [287]

*Rotary* [384]

*Roto-dynamic* [383]

Rugi-rugi Pompa [390]

R-134a [340]

R-22 [340]

R-407C [340]

R-410A [340]

## S

*Scanning rate* [81]

*Scroll* [340]

Semburan uap [266]

Sentrifugal [340]

Sertifikat kompetensi [3]

*Service Factor* (SF) [109]

*Shaft power* [102]

Siemens [99]

Siklus refrigerasi [340]

*Single line diagram* (SLD) [71]

Sirkulasi singkat (*short circulation*) [369]

Sistem bahan bakar [129]

~ *Chiller* [17], [35]

~ Diesel Generator [34]

~ Diesel-Generator [17]

~ Distribusi Uap [17], [34]

~ Fluida [390]

~ Integrasi Proses [17]

~ Integrasi Proses [35]

~ Kelistrikan [17], [70]

~ Manajemen Energi (SME) [430]

~ Pembangkitan Uap (Boiler) [17]

~ pengolahan air limbah [295]

~ pengumpan air [129]

~ Pompa [18], 35

SNI 6196:2011 [13]

SO<sub>2</sub> [146]

*Sound testing* [260]

*Specific gravity* [398]

*Standard Audit* [13]

*Static Head* [394]

*Stationary Boiler* [133]

*Steam Trap* [242]

Studi kelayakan [57]

*Subcooled* [240]

Subsistem beban [70]

~ distribusi [70]

~ pembangkitan [70]

~ transmisi [70]

Subtim Sistem Boiler [34]

~ Sistem Kelistrikan [33]

*Suction* [385]

Survei awal [25]

## T

Tahap Analisis [55]

~ laporan [58]

~ pengumpulan data [46]

~ persiapan [27]

Tahapan Analisis *Pinch* [302]

TDS meter [138]

*Tees* [397]

Tegangan 3 fasa [107]

Tekanan Uap [241]

Teknik optimasi Matematika [302]

Teknologi *pinch* [296]

Termokopel [138]

*Throttling valve* [385], [391]

*Thyristor rectifier* [99]

Tim Audit Energi [31]

Tinjauan Energi [437]

~ lapangan [25]

Titik Kerja Pompa [400]

Titik pengukuran [81]

Torak (*reciprocating*) [340]

Torsi/*torque* [106]

Transformator [97]

TÜV (*Technischer Überwachungsverein*)

Rheinland [12]

## U

Udara lebih (*excess air*) [146]

Uji Visual [260]

Ulir (*screw*) [340]

*Unbalance voltage* [107]

UPT-LSDE [12]

UU No. 28 tahun 2002 [11]

~ No. 30 Tahun 2007 [2]

## V

*Valves* [397]

*Variabel speed drive(VSD)* [73]

Velcan Boiler [134]

*Velocity head* [384], [394]

*Vertical steam boiler* [133]

## W

Waktu Beban Puncak atau WBP [86]

*Walk-Through Audit* [13]

Water *chiller* [338]

~ *cooled chiller* [339]

~ *Tube Boiler* [132]

William J. Younger [13]

*Wiring diagram* [84]

## Y

Yaskawa [99]