

Christina E. Mediastika, Ph.D.

AKUSTIKA BANGUNAN

Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia



STAKAAN
A TIMUR

630
M30
0
PAB 1500 1900
0-905

AKUSTIKA BANGUNAN

PRINSIP-PRINSIP DAN PENERAPANNYA DI INDONESIA

**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 19 TAHUN 2002
TENTANG HAK CIPTA**

**PASAL 72
KETENTUAN PIDANA
SANKSI PELANGGARAN**

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberikan izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

AKUSTIKA BANGUNAN

PRINSIP-PRINSIP DAN PENERAPANNYA DI INDONESIA

Christina Eviutami Mediastika, Ph.D.

Universitas Atmajaya Yogyakarta



PENERBIT ERLANGGA

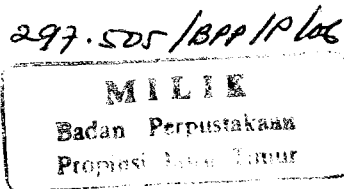
Jl. H. Baping Raya No. 100

Ciracas, Jakarta 13740

<http://www.erlangga.co.id>

e-mail: editor@erlangga.net

(Anggota IKAPI)



Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia

Hak Cipta © 2005 pada *Penerbit Erlangga*

Disusun oleh:

Christina Eviutami Mediastika, Ph.D.

*Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik
Universitas Atma Jaya Yogyakarta*

Editor:

Hilarius Wibi Hardani, S.T., M.M.

Buku ini diset dan dilayout oleh Bagian Produksi *Penerbit Erlangga* dengan Power Macintosh G5, dengan menggunakan huruf Times 10 pt.

Setting & Layout: Bagian Perti

Desain Sampul: Farid Sabilach R.

Percetakan: **PT GELORA AKSARA PRATAMA**

09 08 07 06 6 5 4 3 2 1

Dilarang keras mengutip, menjiplak, memfotokopi sebagian atau seluruh isi buku ini serta memperjualbelikannya tanpa izin tertulis dari *Penerbit Erlangga*.

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Buku ini didedikasikan untuk Titan, Ayahnya, dan Oma-Opanya

KATA PENGANTAR

Rendahnya tingkat kesadaran masyarakat kota akan cemaran bunyi di sekitarnya mendorong penulis untuk menyusun buku ini. Menurut pengamatan penulis, tingkat kesadaran yang rendah ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu lemahnya aturan dan sanksi bagi mereka yang menimbulkan cemaran dan rendahnya pengetahuan masyarakat terhadap dampak buruk dari bunyi yang sangat keras. Kesadaran yang rendah juga melanda para mahasiswa yang mengambil jurusan Arsitektur di berbagai universitas di Indonesia. Ketika mereka lulus dan bekerja sebagai arsitek atau pengembang, mereka tidak menerapkan pertimbangan-pertimbangan yang berhubungan dengan bunyi ke dalam desain mereka. Demikian pula ketika mereka telah menjadi dosen, mereka juga tidak menyampaikan kepada mahasiswa mereka mengenai perlunya memadukan desain dengan pertimbangan-pertimbangan yang berhubungan dengan bunyi.

Orang Indonesia umumnya lebih terbiasa mendengar istilah pencemaran udara, air, atau tanah, dibandingkan istilah pencemaran bunyi. Istilah pencemaran secara sederhana dapat diartikan sebagai penambahan atau masuknya zat tertentu ke suatu sistem melebihi bakuan susunan zat tersebut, sehingga mengganggu keseimbangan sistem tersebut. Pencemaran bunyi dengan demikian diartikan sebagai munculnya bunyi dalam porsi berlebihan yang melampaui bakuan umum yang aman bagi kesehatan indera pendengaran dan kesehatan jiwa dan raga. Sampai sejauh ini, masyarakat belum merasakan dampak langsung penurunan tingkat kesehatan yang disebabkan oleh cemaran bunyi. Hal ini menimbulkan kecenderungan bagi masyarakat untuk mengabaikannya.

Penulis sungguh merasa prihatin terhadap rendahnya tingkat kesadaran masyarakat pada segi yang berhubungan dengan dampak buruk bunyi pada kesehatan. Keprihatinan ini telah dituangkan penulis pada banyak tulisan dalam media-massa populer dan dalam sebuah buku ilmiah-populer “Menuju Rumah Ideal; Nyaman dan Sehat”. Melalui tulisan tersebut, penulis berharap agar wawasan masyarakat awam mulai terbuka, sehingga dapat mengambil berbagai langkah yang dianggap perlu untuk mengatasinya. Buku ini lebih ditujukan kepada para akademisi dan ahli yang bergerak dalam bidang rancang-bangun. Beberapa buku yang ditulis oleh pengarang luar negeri telah mengulas dengan amat baik dan lengkap ilmu akustika bangunan atau ilmu mengenai bunyi yang terkait dengan bangunan ini. Sayangnya, belum satu pun dari buku tersebut yang secara rinci mengulas pedoman akustika bangunan untuk diterapkan di negara tropis yang lembab, seperti Indonesia. Masalah akustika bangunan dan cemaran bunyi di negara berkembang dengan iklim tropika-lembab jauh lebih pelik jika dibandingkan dengan masalah akustika yang dihadapi negara beriklim sejuk-kering. Di Indonesia, pedoman akustika bangunan selalu berselisih paham dengan persyaratan pengudaraan alamiah di dalam bangunan.

Munculnya bunyi keras atau berlebihan pada mereka yang bekerja dengan perlengkapan yang menghasilkan kebisingan, seperti di pabrik, stasiun kereta api, dan bandar udara telah mulai diatasi dengan pelindung telinga. Namun, seiring kemajuan jaman, meningkatnya kebutuhan manusia, dan meningkatnya taraf ekonomi masyarakat, penambahan kendaraan bermotor juga telah menjadi sumber utama penambah cemaran bunyi. Dikatakan sebagai sumber utama, karena dapat dipastikan bahwa di manapun bangunan berada, jalan akan selalu ada di dekatnya. Keberadaan jalan selalu dibutuhkan sebagai alur menuju ke tempat tujuan. Bila cemaran bunyi berpusat pada suatu titik, misalnya seperti yang kita jumpai pada industri, tentu cemaran bunyi itu dapat diatasi dengan menggunakan pelindung telinga. Bila cemaran bunyi terletak di jalan, kita jelas tidak mungkin menganjurkan semua orang

menggunakan pelindung telinga, baik ketika mereka berada di jalan maupun ketika mereka berada di dalam bangunan. Bagi mereka yang berkegiatan di dalam bangunan di tepi jalan yang sibuk, yang berguna menjadi pelindung telinga sesungguhnya adalah bangunan itu sendiri.

Cara kerja alat pelindung telinga yang sangat rapat adalah melindungi bagian dalam indera dengar manusia. Hal yang serupa kita temukan pada bangunan yang dirancang serba tertutup, tidak tembus pandang, dan tanpa lubang ventilasi. Bangunan itu tentu akan menjadi pelindung telinga yang sempurna. Sayangnya, rancangan semacam ini tidak cocok untuk bangunan tropis yang memerlukan lubang ventilasi sebanyak mungkin untuk memungkinkan udara mengalir dan sekaligus memasukkan cahaya matahari. Kebutuhan akan aliran udara menyebabkan bangunan harus memiliki banyak lubang ventilasi, di lain pihak keberadaan lubang ini memudahkan masuknya bunyi. Keadaan ini menyebabkan pedoman akustika bangunan harus bertenggang, sehingga beberapa pedoman akustika bangunan yang termuat dalam buku asing kurang sesuai diterapkan di Indonesia. Terlebih lagi, buku asing lebih banyak mengulas hal yang mendasar, bukan hal praktis-praktis yang bisa langsung diterapkan pada bangunan, umum, maupun pribadi seperti rumah tinggal. Perlindungan rumah tinggal dari cemaran bunyi yang muncul di jalan menjadi hal yang penting karena manusia menghabiskan sebagian besar waktu istirahatnya di dalam rumah.

Penulis sengaja menyusun buku ini dengan sistematika dan sejumlah rumus yang mudah dipahami. Penulis juga menggunakan bahasa serta peristilahan yang lebih mudah dimengerti pembaca, yang tidak secara khusus mempelajari ilmu bunyi dari sudut pandang ilmu fisika murni. Pada bab pendahuluan disajikan pedoman dasar mengenai cara kerja indera pendengaran dan terjadinya bunyi serta bagian yang menyertainya. Bab itu disusul dengan uraian mengenai munculnya bunyi keras atau berlebihan yang disebut kebisingan. Dalam bab ini diulas pula jenis, ciri-ciri, dan kemungkinan penanggulangan kebisingan. Pada bagian akhir disajikan pedoman akustika yang dapat diterapkan pada bangunan untuk kehidupan sehari-hari. Bagi pembaca yang duduk di bangku kuliah, disertakan pula pelatihan pada beberapa bab yang membahas pedoman akustika secara mendasar.

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. RM. Soegijanto, guru besar Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, yang telah berkenan memberikan Kata Pengantar dan semua pihak yang telah membantu terbitnya buku ini. Masukan dari semua pihak, agar isi buku ini dapat terus disesuaikan dengan perkembangan ilmu, sangat ditunggu penulis.

Yogyakarta, Mei 2005
Christina E. Mediastika
utami@mail.uajy.ac.id

KATA SAMBUTAN

Buku yang membahas akustika bangunan yang ditulis dalam Bahasa Indonesia masih sangat langka, apalagi yang berhubungan dengan penerapannya pada iklim Indonesia. Itulah sebabnya, saya menyambut baik terbitnya buku “Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia” ini.

Saya berharap buku ini akan ikut memperkenalkan akustika bangunan yang merupakan bagian dari Fisika Bangunan, tidak hanya kepada mahasiswa arsitektur, tetapi juga kepada akademisi yang terkait dengan perancangan bangunan serta masyarakat pada umumnya. Buku ini dapat mudah dimengerti oleh pembaca yang belum banyak mengetahui masalah akustika dan tidak memerlukan pengetahuan fisika dan matematika yang mendalam, karena di dalam buku ini aplikasi matematika digunakan seminimal mungkin. Yang penting adalah bahwa prinsip-prinsip akustika dapat dijelaskan secara komprehensif. Hal ini memperlihatkan bahwa akustika tidak dapat lagi dianggap sebagai cabang ilmu pengetahuan untuk ahli fisika dan ahli akustika semata, tetapi juga untuk ahli-ahli dan profesional dari disiplin ilmu lainnya.

Dalam perancangan bangunan, arsitek harus memperhatikan persyaratan akustik dengan perhatian yang sama seriusnya dengan perhatian yang dicurahkannya dalam memikirkan persyaratan lainnya seperti struktur, mekanikal-elektrikal, dan lain-lain. Informasi yang disajikan dalam buku ini bisa dijadikan dasar-dasar pengetahuan umum yang bermanfaat mengenai pengetahuan teknologi bangunan bagi para perancang bangunan. Seperti halnya ilmu dan teknologi lain yang terkait dengan perancangan, untuk kasus yang khusus jika diperlukan konsultasi dapat dilakukan dengan ahlinya.

Semoga buku ini dapat memberikan pemahaman dan kesadaran mengenai akustika, terutama yang berhubungan dengan dampak kebisingan terhadap manusia, pengendalian kebisingan pada akustika ruangan, serta penerapannya untuk kondisi Indonesia.

Demikian sambutan singkat dari kami.

Bandung, 5 Oktober 2004

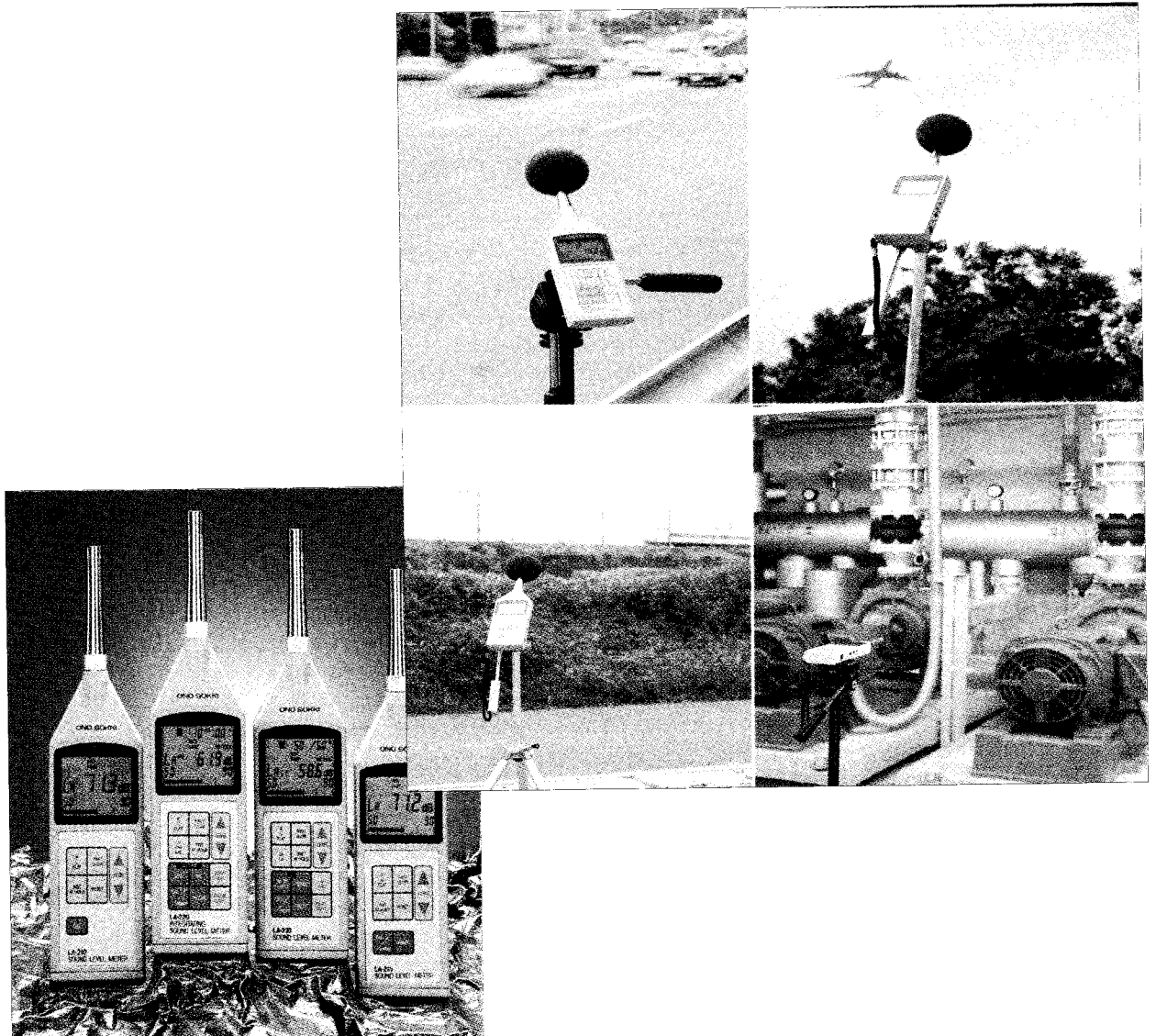
Prof. Soegijanto
Laboratorium Fisika Bangunan dan Akustika
Departemen Teknik Fisika
Institut Teknologi Bandung
soegi@tf.itb.ac.id

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
KATA SAMBUTAN	viii
DAFTAR ISI	x
 BAGIAN I BUNYI	 2
Bab 1	
BUNYI DAN INDERA DENGAR MANUSIA	3
Terjadinya Bunyi 3; Macam Sumber Bunyi 4; Gelombang Bunyi 6; Amplitudo 8; Resonansi 9; <i>Sound Levels</i> 9; Hubungan antara Intensitas dan Tekanan 10; <i>DeciBell (dB)</i> 10; <i>Phon Scale</i> 12; <i>Sound Weighting</i> 12; <i>Sound Level Meter (SLM)</i> 14; Telinga Manusia 16; Gangguan pada Telinga 17; Alat Pelindung Telinga 19; Soal Latihan 19	
 BAGIAN II KEBISINGAN	 22
Bab 2	
NOIS DAN KEBISINGAN	23
Terjadinya Nois 23; Karakteristik Kebisingan dan Tanggapan Masyarakat 27; Baku Kebisingan 27; Mengukur Tingkat Kebisingan 28; Penumpukan atau Akumulasi Tingkat Kebisingan 29; Pengukuran Tingkat Kebisingan dengan Angka Penunjuk 30; Sumber Kebisingan Potensial 33; Soal Latihan 34	
Bab 3	
KEBISINGAN JALAN RAYA	35
Kebisingan dari Kendaraan Bermotor 35; Jenis Kendaraan Bermotor 37; Faktor Penentu Tingkat Kebisingan Kendaraan Bermotor 38; Pembagian Kelas Jalan 39; Karakteristik Kebisingan dari Kendaraan Bermotor 41; Penunjuk Polusi Kebisingan dan Penunjuk Kebisingan Lalu-Lintas 41; Soal Latihan 42	
 BAGIAN III KEBISINGAN PADA BANGUNAN	 44
Bab 4	
KEBISINGAN PADA BANGUNAN DAN ASAS PENANGGULANGANNYA	45
Kebisingan dari Jalan dan Bangunan 45; Perambatan Kebisingan ke Dalam Bangunan 46; Perilaku Bunyi ketika Mengenai Objek 47; Mengatasi Kebisingan yang Merambat secara Airborne 49; Mengatasi Kebisingan yang Merambat secara Structureborne 49; Refleksi, Absorpsi, dan Insulasi 50; Insulasi Material Kombinasi 53; Soal Latihan 57	
Bab 5	
AKUSTIKA LUAR-RUANGAN	59
Reduksi Kebisingan secara Alamiah 59; Menata Layout Bangunan 63; Penghalang Buatan 64; Pemakaian Material dengan Insulasi Kombinasi 74; Soal Latihan 76	

Bab 6	
AKUSTIKA DALAM-RUANGAN	77
Refleksi 77; Reverberation 80; Pengontrolan Echo dan Reverberation 82; Absorpsi 83; Difraksi 85; Refraksi 86; Difusi 86; Transmisi Bunyi 86; Room Acoustics 87; Soal Latihan 88	
BAGIAN IV PENERAPAN PADA BANGUNAN	90
Bab 7	
AUDITORIUM	91
Akustika Luar Ruangan 92; Akustika Dalam Ruangan 93; Area Panggung 93; Penyelesaian Akustik Lantai Panggung 95; Penyelesaian Akustik Plafon Panggung 96; Penyelesaian Akustik Dinding Panggung 96; Area Penonton 96; Penyelesaian Akustik Lantai Area Penonton 97; Penyelesaian Akustik Plafon Area Penonton 98; Penyelesaian Akustik Dinding Area Penonton 99; Lantai Balkon 100; Soal Latihan 103	
Bab 8	
STUDIO	104
Akustika Luar Ruangan 104; Akustika Dalam Ruangan 106; Penyelesaian Akustik Lantai Ruang Studio dan Operator 107; Penyelesaian Akustik Plafon Ruang Studio dan Operator 108; Penyelesaian Akustik Dinding Ruang Studio 109; Akustik Ruang Studio untuk Laboratorium 113; Soal Latihan 114	
Bab 9	
BANGUNAN UMUM	115
Akustika pada Bangunan Perkantoran 115; Akustika pada Bangunan Hotel dan Sejenisnya 118; Akustika pada Bangunan Sekolah dan Sejenisnya 118; Akustika pada Bangunan Rumah Sakit dan Sejenisnya 119; Akustika pada Ruang Perpustakaan 120; Akustika pada Rumah Tinggal 120; Soal Latihan 120	
Bab 10	
GARIS BESAR AKUSTIKA BANGUNAN UNTUK INDONESIA DAN NEGARA SEJENIS	121
Karakteristik Kebisingan di Negara Berkembang 121; Penyelesaian Kebisingan secara Outdoor 122; Penyelesaian Kebisingan pada Selubung Bangunan 124; Penyelesaian Rancangan secara Indoor 125; Hasil Akhir 126; Soal Latihan 127	
Bab 11	
SISTEM PERKUATAN DAN PERBAIKAN KUALITAS BUNYI SECARA BUATAN	128
Mikrofon 129; Amplifier dan Equalizer 132; Speaker 134; Soal Latihan 136	
JAWABAN SOAL LATIHAN	137
GLOSARI DAN NOTASI	145
PUSTAKA	147
INDEKS	148

BAGIAN I: BUNYI



Bab 1

BUNYI DAN INDERA DENGAR MANUSIA

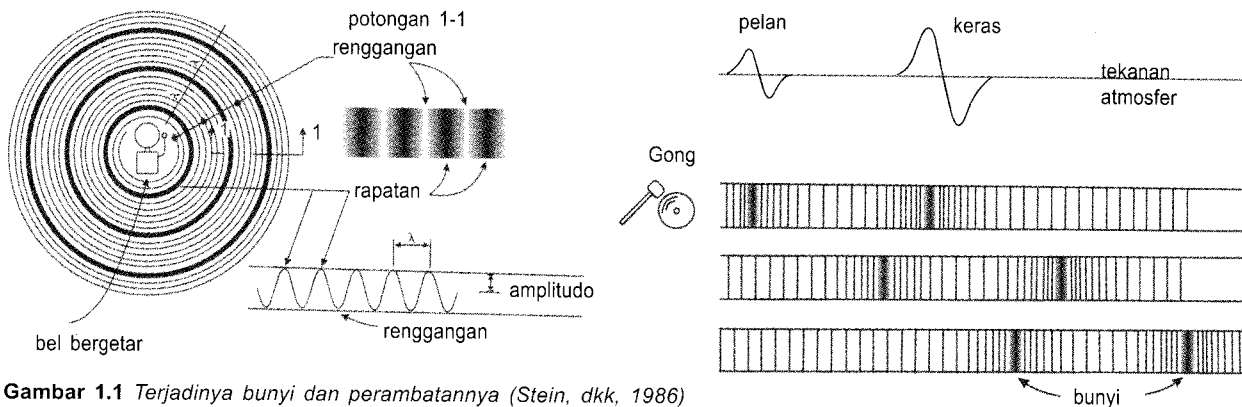
Manusia normal dikaruniai lima indera, masing-masing berfungsi untuk melihat, mendengar, mencium, mengecap, dan meraba sesuatu. Karena kondisi ini diterima sejak lahir, seringkali kita tidak merasakan keberadaannya dan tidak paham bagaimana sesungguhnya cara kerja indera tersebut. Ketika suatu saat salah satu indera tersebut tidak berfungsi dengan baik, barulah kita merasakan kehilangan dan segera ingin tahu mengapa hal tersebut terjadi.

Telinga dan saraf-saraf yang terdapat di dalamnya yang terhubung ke otak adalah rangkaian indera yang membuat manusia mampu mendengar bunyi-bunyi yang muncul di sekitarnya. Untuk mempelajari lebih jauh mengenai bagaimana kita dapat menjaga fungsi indera pendengaran ini agar tetap baik meski usia kita terus bertambah, penting kiranya kita pahami bagaimana cara kerja indera pendengaran tersebut.

1.1. Terjadinya Bunyi

Bunyi terjadi karena adanya benda yang bergetar yang menimbulkan gesekan dengan zat di sekitarnya. Mari kita teliti satu-per-satu. Semua bunyi yang terjadi di sekitar kita selalu berasal dari objek yang bergetar, mulai dari bunyi mangkok tukang bakso, bunyi kendaraan bermotor, bahkan suara manusia sendiri. Mangkok bakso berbunyi ketika dipukul oleh sendok, pukulan ini menyebabkan mangkok bergetar. Mesin kendaraan bermotor mengubah energi dari hasil pembakaran menjadi energi mekanis yang selanjutnya dipakai untuk menggerakkan kendaraan. Gerakan pada roda yang berputar berawal dari gerakan naik-turunnya piston pada ruang pembakaran, yang kemudian disalurkan ke roda melalui sistem transmisi roda gigi. Rangkaian pengalih tenaga ini menimbulkan bunyi dan getaran yang cukup keras pada kendaraan karena putaran roda gigi dapat mencapai ribuan putaran/menit. Begitu pula, manusia dapat bersuara karena pita suaranya bergetar. Sumber getaran dapat berupa objek yang bergerak, dan dapat juga berupa udara yang bergerak. Contoh objek bergerak atau bergetar telah dikemukakan di atas, sedangkan contoh dari udara yang bergerak terjadi pada terompet yang ditiup.

Getaran atau gerakan objek atau udara tersebut kemudian menyentuh partikel zat yang ada di dekatnya. Zat ini dapat berupa gas, cairan atau padatan, tergantung letak objek yang bergetar. Partikel zat yang pertama tersentuh (yang paling dekat dengan objek) akan meneruskan energi yang diterimanya ke partikel di sebelahnya. Demikian seterusnya partikel-partikel zat akan saling bersentuhan sehingga membentuk rapatan dan renggangan yang dapat digambarkan sebagai gelombang yang merambat (Gambar 1.1). Oleh karena itu, keberadaan zat di sekitar objek yang bergetar seringkali disebut juga zat antara atau medium perambatan gelombang bunyi. Meski objek yang bergetar, yang disebut sebagai sumber bunyi, telah berhenti bergetar, pada keadaan tertentu perambatan gelombangnya masih terus berjalan sampai pada jarak tertentu dari objek tersebut. Rambatan gelombang tersebut ditangkap oleh daun telinga, berjalan melalui kanal telinga (lihat Gambar 1.16), ikut menggetarkan gendang telinga dan elemen indera pendengaran lain di dalam telinga. Selanjutnya saraf pendengaran mengirim beritanya ke otak. Inilah proses bagaimana manusia dapat menangkap atau mendengar bunyi yang terjadi di sekitarnya.



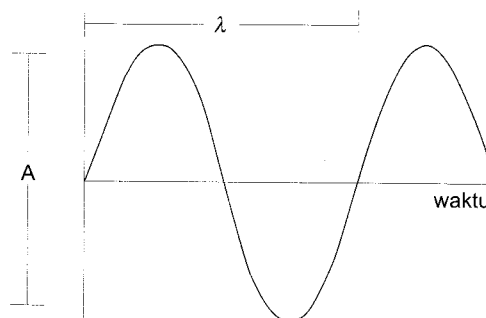
Gambar 1.1 Terjadinya bunyi dan perambatannya (Stein, dkk, 1986)

Melalui uraian di atas, cukup jelas bahwa untuk dapat mendengar bunyi, dibutuhkan adanya tiga hal berikut, yaitu: sumber atau objek yang bergetar, medium perambatan, serta indera pendengaran. Ketiga hal tersebut sangat penting keberadaannya. Medium perambatan harus ada antara objek dan telinga agar perambatan dapat terjadi. Dalam ruangan hampa udara, tidak ada partikel yang menghantar getarannya, oleh karenanya tidak terjadi perambatan, sehingga meski ada objek bergetar dan pendengar memiliki telinga yang sehat, bunyi yang muncul tidak dapat didengar.

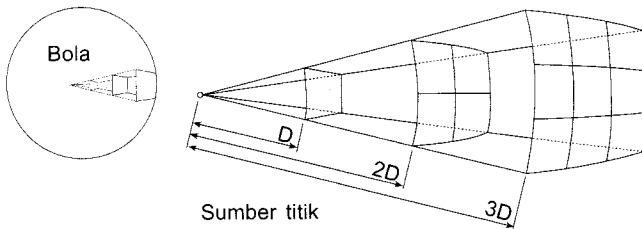
Perambatan gelombang bunyi pada suatu medium berupa gelombang longitudinal, artinya arah getarannya searah dengan arah rambatannya. Objek yang bergetar pada posisi bebas atau tidak terhalang objek lain akan menyentuh semua partikel zat medium yang ada di sekitarnya, sehingga perambatan gelombang bunyi terjadi ke segala arah. Ketika perambatan mendekati objek yang diam, maka sebagaimana keadaan objek tersebut, ada kemungkinan perambatan akan memantul atau berkurang (karena diserap atau diteruskan oleh objek penghalang tersebut). Seringkali tidak mudah memberikan gambaran untuk menjelaskan fenomena yang terjadi melalui model perambatan gelombang yang sesungguhnya berupa rapatan dan renggangan partikel. Oleh karena itu, kondisi ini lebih banyak digambarkan berupa kurva membentuk gunung-gunung dan lembah-lembah yang merupakan penggambaran getaran terhadap waktu, yang disebut juga gelombang *sinusoidal* (Gambar 1.2).

1.2. Macam Sumber Bunyi

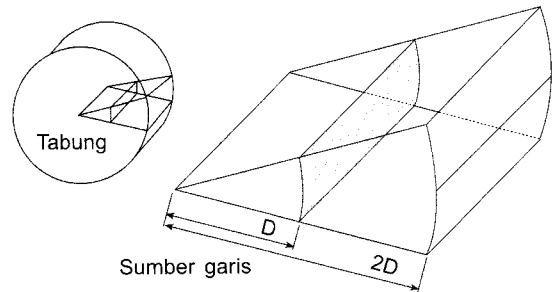
Menurut jumlah sumber getaran atau gerakan yang terjadi, bunyi dapat dibedakan menjadi bunyi yang berasal dari sumber berbentuk titik dan bunyi yang berasal dari sumber berbentuk garis. Sumber bunyi yang berwujud sebagai titik adalah sumber yang muncul oleh adanya satu buah getaran saja (getaran tunggal). Selanjutnya bunyi ini terdistribusi atau merambat dengan kekuatan yang sama ke segala arah, sehingga seolah-olah membentuk ruangan berwujud bola (Gambar 1.3). Sedangkan



Gambar 1.2. Perambatan bunyi dalam wujud gelombang sinusoidal, di mana A adalah amplitudo (keras/lemahnya bunyi) dan λ adalah satu panjang gelombang



Gambar 1.3. Penyebaran sumber bunyi tunggal (berwujud titik) (Sound Control for Home, 1993)



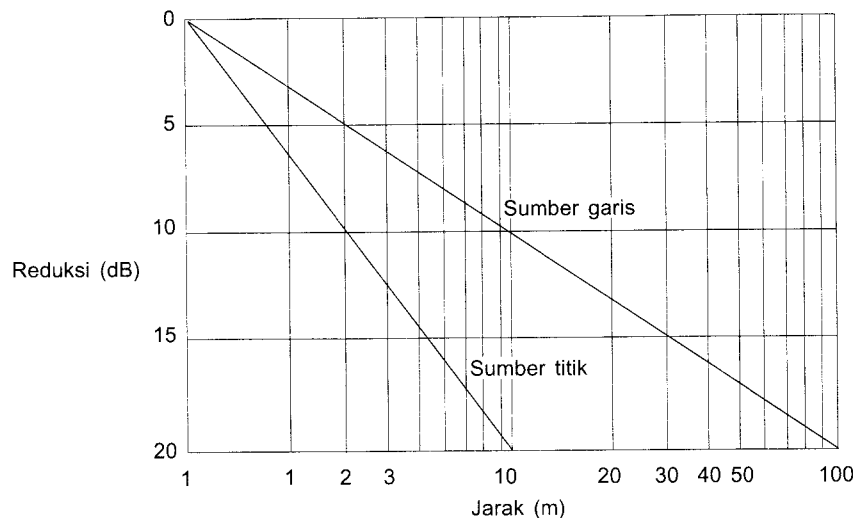
Gambar 1.4. Penyebaran sumber bunyi majemuk (berwujud garis) (Sound Control for Home, 1993)

bunyi berwujud sebagai garis adalah bunyi yang dihasilkan oleh beberapa atau banyak getaran (majemuk).

Pada sumber bunyi berbentuk garis, diasumsikan sebuah garis berada dalam suatu ruangan. Ketika bunyi terdistribusi atau merambat ke segala arah, seolah-olah akan terbentuk ruangan berwujud tabung atau silinder dengan sebuah garis sebagai pusat atau sumbunya (Gambar 1.4). Karena dihasilkan oleh sumber tunggal, bunyi berbentuk titik memiliki kemampuan sebaran atau perambatan yang lebih rendah dari bunyi berbentuk garis. Hal ini dibuktikan oleh sebuah penelitian (BRE/CIRIA, 1993), bahwa pada sumber bunyi berbentuk titik, setiap kali jaraknya bertambah dua kali lipat dari sumber, maka kekuatannya akan turun sebesar 6 dB. Sedangkan pada sumber bunyi berbentuk garis, setiap kali jaraknya bertambah dua kali lipat dari sumber, maka kekuatannya akan turun 3 dB (Gambar 1.5).

Dalam kehidupan sehari-hari, terutama pada siang hari, jarang sekali kita mendengarkan bunyi yang berasal hanya dari sebuah sumber tunggal, karena hampir tidak pernah terjadi kita mendengar satu-satunya bunyi yang muncul pada saat tertentu. Dalam waktu yang bersamaan, dapat dipastikan kita mendengarkan beberapa bunyi sekaligus, seperti misalnya bunyi percakapan teman, bunyi kendaraan bermotor melintas dan bunyi musik dari radio. Bahkan ketika radio tersebut berupa *stereo-set*, meski bunyi hanya berasal dari satu radio, sumbernya sudah tidak berupa titik lagi, sebab setidaknya ada dua *speaker* yang berbunyi. Hanya pada malam yang amat tenang, masih ada kemungkinan kita mendengarkan satu sumber bunyi saja, misalnya bunyi seekor jengkerik.

Jenis bunyi majemuk (berwujud seperti garis) amat mudah dijumpai di jalan raya yang supersibuk, di mana aliran kendaraan berjalan tiada putus. Objek yang berdiri di sisi jalan tersebut akan menerima distribusi bunyi dari sumber majemuk.



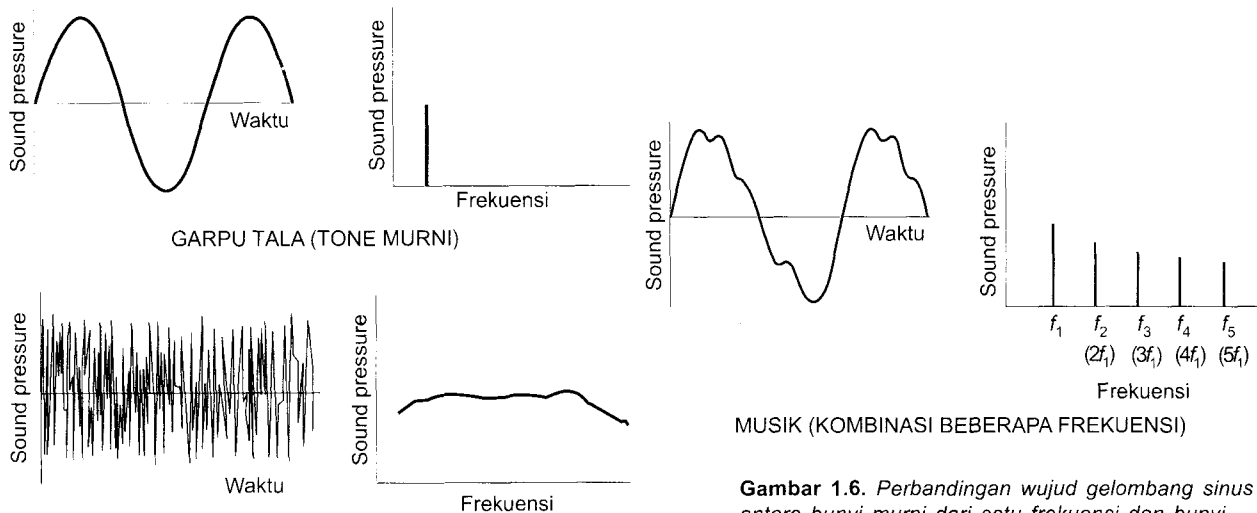
Gambar 1.5. Perbandingan reduksi bunyi karena jarak antara sumber tunggal (titik) dan majemuk (garis) (Sound Control for Home, 1993)

1.3. Gelombang Bunyi

Sama halnya dengan gelombang lainnya, gelombang bunyi dapat diukur dalam satuan panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan rambat. Mari kita tinjau satu-per-satu. Panjang gelombang yang dinotasikan sebagai λ , adalah jarak antara dua titik pada posisi yang sama yang saling berurutan, misalnya jarak antara dua puncak gunung, atau jarak antara dua lembah. Panjang gelombang diukur dalam satuan meter (m) dan merupakan elemen yang menunjukkan kekuatan bunyi. Semakin panjang gelombangnya, semakin kuat pula bunyi tersebut, dalam arti, semakin jauh bunyi mampu merambat. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang menunjukkan bahwa dalam medium udara, serapan udara pada bunyi dengan gelombang yang panjang, jauh lebih kecil dari serapan udara pada bunyi dengan gelombang yang pendek (Templeton dan Saunders, 1987), lihat Tabel 5.1 dan 5.2. Pada tingkat kecepatan rambat yang sama (dalam medium yang sama), bunyi dengan gelombang panjang identik dengan frekuensi rendah, dan demikian pula sebaliknya.

Selain panjang gelombang, elemen bunyi yang lain adalah frekuensi. Frekuensi adalah jumlah atau banyaknya getaran yang terjadi dalam setiap detik. Dalam model penggambaran kurva gunung dan lembah, frekuensi adalah banyaknya gelombang sinus (satu set kurva sinus terdiri dari satu gunung dan satu lembah) setiap detik (Gambar 1.2). Sesuai dengan nama penemunya, frekuensi dihitung dalam satuan Hertz (Hz). Jumlah getaran yang terjadi setiap detik tersebut sangat tergantung pada jenis objek yang bergetar. Secara singkat, hal ini dapat diartikan sebagai bahan pembentuk objek tersebut. Oleh karena itu setiap benda akan memiliki frekuensi tersendiri yang berbeda dari benda lainnya. Dalam bahasa umum dapat diartikan bahwa benda memiliki kekhasan bunyi yang membedakannya dengan bunyi benda lain. Tanpa melihat, hanya dengan mendengar saja, seringkali kita dapat membedakan apakah suatu benda yang jatuh terbuat dari logam, kaca, atau kayu. Bahkan, melalui pesawat telepon, kita juga dapat membedakan bunyi orang-orang yang kita akrab. Hal ini disebabkan karena setiap orang memiliki warna bunyi yang berbeda karena adanya perbedaan spektrum frekuensi.

Ketika yang bergetar adalah sumber tunggal, gelombangnya digambarkan sebagai gelombang sinusoidal. Sedangkan ketika beberapa bunyi yang berasal dari frekuensi yang berbeda muncul pada saat bersamaan, gelombang sinusoidal yang tergambar akan terdiri dari beberapa gelombang yang menyatu. Kemampuan telinga manusia dalam mendengarkan bunyi-bunyi yang muncul di sekitarnya dibatasi oleh ambang pendengarannya. Frekuensi terendah yang mampu didengar manusia berada pada 20 Hz sampai pada ambang batas atas 20.000 Hz. Bunyi-bunyi yang muncul pada frekuensi di bawah 20 Hz disebut bunyi infrasonik, sedangkan yang muncul di atas 20.000 Hz disebut bunyi ultrasonik. Dalam rentang 20 Hz sampai 20.000 Hz tersebut, bunyi masih dibedakan lagi menjadi



Gambar 1.6. Perbandingan wujud gelombang sinus antara bunyi murni dari satu frekuensi dan bunyi dalam multifrekuensi (Stein, dkk, 1986)

bunyi-bunyi dengan frekuensi rendah (di bawah 1000 Hz), frekuensi sedang (1000 Hz sampai 4000 Hz) dan frekuensi tinggi (di atas 4000 Hz). Penelitian menunjukkan bahwa manusia lebih nyaman mendengarkan bunyi-bunyi dalam frekuensi rendah.

Elemen lain dari bunyi adalah kecepatan rambat bunyi dalam medium tertentu. Kecepatan rambat yang dilambangkan dengan notasi (v) adalah jarak yang mampu ditempuh oleh gelombang bunyi pada arah tertentu dalam waktu satu detik, satuannya adalah meter-per-detik (m/det). Setiap kali sebuah objek bergetar, gelombangnya bergerak menjauh sejauh satu gelombang sinus. Oleh karena itu, banyaknya getaran tiap detik menunjukkan total panjang yang berpindah dalam satu detik. Kejadian perpindahan atau perambatan gelombang dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$v = f \cdot \lambda \quad (1)$$

Dengan:

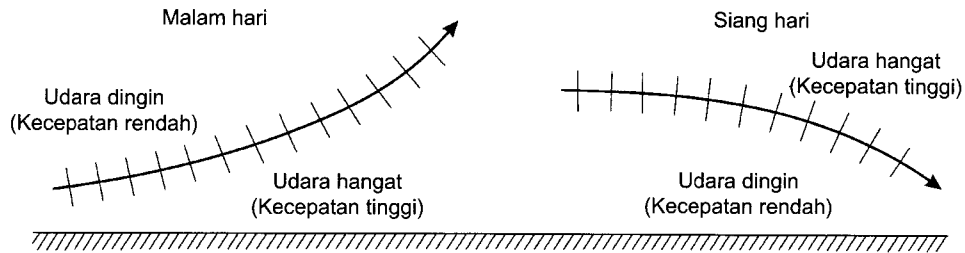
- v = kecepatan rambat (m/det)
- f = frekuensi (Hz)
- λ = panjang gelombang (m)

Ketika merambat pada medium yang homogen, bunyi akan merambat ke segala arah dengan kecepatan rambat yang tetap. Meski persamaan (1) seolah-olah menunjukkan bahwa kecepatan rambat bunyi bergantung pada frekuensi dan panjang gelombang, sesungguhnya ini tidak benar. Kecepatan rambat bunyi bergantung pada kerapatan partikel zat medium yang dilaluinya. Sementara itu, kerapatan partikel ditentukan pula oleh susunan partikel, temperatur, dan kandungan partikel lain dalam zat, seperti misalnya kandungan titik-titik air dalam zat gas (tingkat kelembaban relatif, *relative humidity*). Bunyi merambat lebih cepat pada medium dengan partikel yang stabil, dan sebaliknya. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: pada zat dengan partikel yang susunannya stabil, sentuhan antar partikel lebih mudah terjadi dan lebih teratur, sehingga perambatan gelombang terjadi lebih cepat. Oleh karena itu, bunyi merambat lebih cepat pada medium padat, dibandingkan pada medium cair. Demikian pula, dalam medium cair, bunyi merambat lebih cepat daripada dalam medium gas. Selanjutnya, penelitian juga menunjukkan bahwa gelombang bunyi merambat lebih cepat dalam medium dengan suhu tinggi dibanding dalam suhu rendah.

Pada kehidupan sehari-hari, kita secara umum mendengarkan bunyi melalui medium gas atau udara. Keadaan ini dapat kita anggap sebagai suatu kondisi yang tetap, karena sangat kecil kemungkinannya bahwa dalam kehidupan sehari-hari kita berada di dalam air. Namun demikian, meski berada pada medium yang sama yaitu udara, sesungguhnya kecepatan rambat bunyi dapat berubah sebagaimana perubahan suhu udara pada saat-saat tertentu. Kecepatan rambat bunyi juga dapat berubah ketika jenis gas yang menyusun lapisan udara berubah komposisinya. Namun, untuk memudahkan, kecepatan rambat gelombang bunyi pada medium udara ditetapkan sebagai suatu angka konstan yang umumnya diacu untuk menghitung persamaan (1). Kecepatan rambat yang umum dipakai adalah 340 m/det. Kecepatan ini adalah kecepatan rambat gelombang bunyi pada

Tabel 1.1. Kecepatan rambat bunyi dalam medium tertentu

Medium	Kecepatan rambat bunyi (v)
Udara pada temperatur -20°C	319,3 m/det
Udara pada temperatur 0°C	331,8 m/det
Udara pada temperatur 10°C	337,4 m/det
Udara pada temperatur 20°C	343,8 m/det
Udara pada temperatur 30°C	349,6 m/det
Gas hidrogen	1284 m/det
Gas O_2	316 m/det
Gas CO_2	259 m/det
Air murni	1437 m/det
Air laut	1541 m/det
Baja	6100 m/det



Gambar 1.7. Perambatan gelombang bunyi pada medium udara sesungguhnya tidak lurus namun membelok sesuai suhu udara yang dilaluinya.

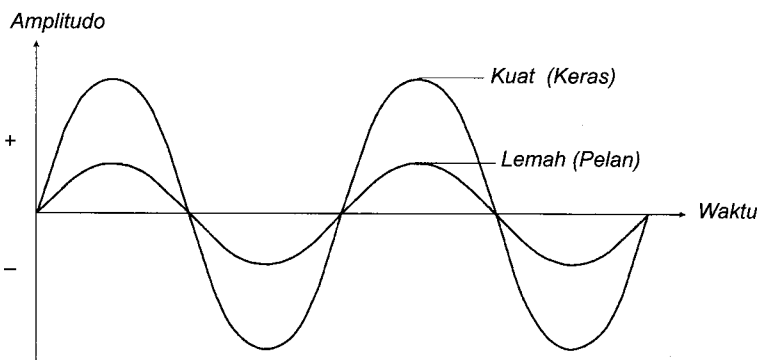
udara normal yang tersusun dari 78% Nitrogen (N_2), 21% Oksigen (O_2), dan sisanya CO_2 serta gas lain, pada suhu $15^\circ C$. Seringkali muncul pertanyaan mengapa digunakan acuan $15^\circ C$, sedangkan tidak semua lokasi memiliki suhu tersebut. Sebagai contoh, Indonesia yang umumnya terik, dapat dipastikan sangat jarang berada pada suhu tersebut. Itu sebabnya, angka 340 m/det tidak begitu saja bisa langsung dipakai sebagai acuan. Pendapat ini ada benarnya. Untuk iklim seperti Indonesia, kecepatan rambat gelombang bunyi pada suhu $20^\circ C$ — $30^\circ C$ akan lebih sesuai untuk dipergunakan. Pada suhu ini, kecepatan rambat gelombang bunyi adalah sekitar 345 m/det.

Ketika kecepatan rambat gelombang bunyi dapat kita anggap tetap, entah pada 340 m/det atau 345 m/det, dengan menggunakan persamaan (1), dapat dijelaskan bahwa setiap kali nilai (f) turun, maka nilai (λ) naik, demikian pula sebaliknya. Oleh karena itu, meski tidak identik, dapat diartikan bahwa setiap frekuensi selalu memiliki panjang gelombang tersendiri. Pada udara hangat-panas, perambatan gelombang bunyi akan cenderung mengarah ke atas dan pada udara sejuk-dingin perambatannya cenderung mengarah ke bawah (Gambar 1.7).

1.4. Amplitudo

Pada bagian sebelumnya telah diulas bahwa frekuensi bunyi menentukan jenis atau warna bunyi yang muncul, sedangkan panjang gelombang bunyi menunjukkan kekuatan bunyi. Kekuatan ini tidak diartikan sebagai keras atau pelannya bunyi, namun kuat/lemahnya getaran yang ditimbulkannya. Bunyi-bunyi berfrekuensi rendah adalah bunyi yang memiliki panjang gelombang yang besar, semakin rendah frekuensinya semakin panjang gelombangnya sehingga semakin kuat getarannya. Oleh karena itu pada saat mempelajari bunyi-bunyi dengan frekuensi rendah, umumnya sekaligus dipelajari pula getaran yang terjadi (*sound and vibration*).

Ketika frekuensi dan panjang gelombang tidak menunjukkan keras atau pelannya bunyi, maka yang berpengaruh terhadap hal ini adalah amplitudo atau simpangan gelombang yang dilambangkan sebagai (A). Gambar 1.8 menunjukkan bahwa (A) tidak bergantung secara langsung pada panjang gelombang. Gelombang panjang maupun gelombang pendek dapat menghasilkan simpangan yang besar dan kecil. Semakin besar simpangannya, semakin keraslah bunyi yang muncul dari getaran yang terjadi, demikian pula sebaliknya.



Gambar 1.8. Amplitudo menunjukkan keras/lemahnya bunyi

1.5. Resonansi

Pada saat mempelajari akustika bangunan, penting kiranya dikemukakan mengenai resonansi. Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya objek yang berada pada jarak tertentu dari sebuah objek sumber bunyi yang bergetar, karena objek yang ikut bergetar tersebut memiliki kesamaan atau kemiripan frekuensi dengan objek sumber bunyi yang bergetar. Resonansi akan terjadi sangat kuat bila dua objek tersebut sama persis frekuensinya, namun tidak terlalu kuat ketika kedua objek hanya berdekatan frekuensinya. Resonansi juga terjadi lebih kuat ketika jarak kedua objek cukup dekat. Selain diakibatkan oleh kesamaan atau kemiripan frekuensi, resonansi juga dapat terjadi ketika objek sumber bunyi yang bergetar adalah objek yang memiliki kekuatan getaran yang hebat (objek dengan panjang gelombang yang besar atau objek dengan frekuensi rendah), sehingga mampu menggetarkan objek lain yang tidak memiliki kedekatan frekuensi.

1.6. Sound Levels

Melalui uraian pada bagian sebelumnya, dijelaskan bahwa pada saat menyebutkan kekuatan bunyi ada dua hal yang bisa dijadikan acuan, yaitu (1) kekuatan bunyi yang diasosiasikan dengan kekuatan getaran (berkaitan dengan panjang gelombang); dan (2) kekuatan bunyi terkait dengan amplitudo yang akan menunjukkan keras/pelannya bunyi. Pada bagian ini akan diuraikan bahwa kekuatan bunyi secara umum dapat diukur melalui tingkat bunyi (*sound levels*). Tingkat atau level ini diartikan sebagai nilai atau angka berdasarkan pada nilai atau angka dasar yang dijadikan acuan.

Sound power adalah cara pengukuran kekuatan bunyi berdasarkan jumlah energi yang diproduksi oleh sumber bunyi. *Sound power* dinotasikan sebagai (P) dalam satuan Watt (W). *Sound power* adalah karakteristik terpenting dari bunyi, namun demikian energi yang terkandung dalam bunyi sesungguhnya tidaklah terlalu besar. Ambil contoh, energi bunyi manusia yang berteriak, hanya berkisar 1 mW saja, sedangkan mesin pesawat jet yang sangat keras hanya menghasilkan beberapa kiloWatt. Oleh karena bunyi yang muncul sehari-hari di sekitar kita bukanlah bunyi yang amat keras, maka seringkali cukup sulit bagi kita untuk menghitung kekuatan bunyi melalui *sound power* secara langsung.

Pengukuran tingkat kekuatan bunyi juga dapat dilakukan dengan *sound intensity* (I) atau intensitas bunyi, yaitu: *sound power* per satuan luas. Satuannya adalah Watt/m². Ketika sebuah objek sumber bunyi bergetar dan getarannya merambat ke segala arah, sebaran ini akan menghasilkan ruang berbentuk seperti bola (Gambar 1.3). Pada titik tertentu dalam bola tersebut, intensitas bunyinya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Dengan:

I = intensitas bunyi pada jarak r dari sumber bunyi (Watt/m²)

P = daya atau kekuatan sumber bunyi (Watt)

r = jarak dari sumber bunyi (m)

Persamaan (2) menjelaskan bahwa semakin besar nilai (r) atau semakin jauh jarak pendengar dari sumber bunyi, semakin kecil intensitas atau semakin pelanlah bunyi yang diterimanya. Ketika *sound power* tidak dapat dijadikan acuan karena nilainya yang amat kecil, maka seringkali intensitas bunyi yang dihitung menggunakan satuan Watt/m² juga kurang dapat dijadikan acuan oleh karena nilainya yang amat kecil. Pengukuran berikutnya adalah menggunakan *sound pressure* (p). Yang dimaksud *sound pressure* adalah rata-rata variasi tekanan udara di atmosfer yang disebabkan oleh karena adanya objek bergetar yang menekan partikel udara. *Sound pressure* dihitung dalam satuan Pascal (Pa). Karena getaran merambat dalam wujud rapatan dan renggangan partikel, maka tekanan yang timbul selalu berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Oleh karena itu, untuk

memudahkan pengukuran, nilai ini kemudian dihitung dalam akar kuadratnya, sehingga nilainya selalu positif. Bunyi yang sangat keras hanya menghasilkan tekanan di udara sebesar-besarnya 0,707 Pa. Angka ini-pun menunjukkan bahwa pengukuran dengan *sound pressure* tidak akan mudah dilakukan, sebab juga menggunakan nilai yang amat kecil.

1.7. Hubungan antara Intensitas dan Tekanan

Intensitas suatu bunyi berbanding secara proporsional dengan kuadrat tekanannya dan dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{p^2}{\rho v} \quad (3)$$

Dengan:

- I = intensitas bunyi (Watt/m²)
- p = tekanan bunyi (Pa)
- ρ = kerapatan material (kg/m³)
- v = kecepatan bunyi (m/det)

Pada bagian sebelumnya telah dibahas mengenai ambang batas frekuensi yang mampu didengar telinga manusia. Selanjutnya hubungan antara intensitas dan tekanan akan menunjukkan adanya ambang batas bunyi yang dapat didengarkan telinga manusia, diukur dengan tingkat kekuatan bunyi. Ambang batas bawah (*threshold of hearing*) adalah bunyi terlemah yang dapat didengar telinga manusia pada kondisi normal. Angka ambang batas bawah ini seringkali sedikit berbeda bagi setiap individu. Bila diukur dalam intensitas, ambang batas bawah manusia berada pada $1 \cdot 10^{-12}$ Watt/m², sedangkan bila diukur dalam tekanan, ambang batas bawah manusia berada pada $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Selain ambang batas bawah, manusia juga memiliki ambang batas atas (*threshold of pain*), yaitu bunyi terkeras yang mampu didengarkan tanpa menimbulkan rasa sakit di telinga. Bunyi yang amat keras tentu saja membuat nyeri pada indera pendengaran dan bagian tubuh lainnya. Ambang batas atas manusia yang diukur dengan intensitas berada pada 100 Watt/m² sedangkan bila diukur dengan tekanan berada pada 200 Pa.

Pada pengukuran intensitas bunyi dengan menggunakan tekanan, dikenal istilah *sound pressure level* (SPL), yaitu nilai yang menunjukkan perubahan tekanan di dalam udara karena adanya perambatan gelombang bunyi. SPL diukur dalam skala dB dengan mengacu pada standar tertentu (biasanya yang dipakai adalah 20 μ Pa).

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

Dengan:

- SPL = sound pressure level (dB)
- p = tekanan dalam Pa atau bars (1 Pa = 10 μ bars)
- p_0 = tekanan acuan (20 μ Pa)

1.8. DeciBell (dB)

Beberapa model pengukuran tingkat kekuatan bunyi yang telah dibahas pada bagian sebelumnya menunjukkan bahwa pada beberapa hal, pengukuran menjadi tidak nyaman dan sulit dilakukan karena menggunakan angka-angka yang terlalu kecil, demikian pula pengukuran tingkat kekuatan bunyi dengan bantuan ambang bawah dan ambang batas atas telingapun tidak selalu mudah dilakukan karena terlalu jauh selisihnya, yaitu dari 1×10^{-12} Watt/m² sampai 100 Watt/m², atau dari 2×10^{-5} Pa sampai 200 Pa.

Oleh karena itu, dipakailah model pengukuran dengan sistem rasio atau perbandingan di antara dua nilai, dapat berupa antara dua nilai intensitas maupun antara dua nilai tekanan. Perbandingan ini dilakukan dengan sistem logaritmik dan selanjutnya dihitung dalam satuan *deciBell* (yang secara umum ditulis desibel). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$IL = 10 \log_{10} \frac{I_2}{I_1} = 10 \log_{10} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 \quad (5)$$

Dengan:

IL = adalah intensitas bunyi (dB)

I_2 dan I_1 = intensitas akhir dan awal bunyi yang diperbandingkan

p_2 dan p_1 = tekanan akhir dan awal yang diperbandingkan

Meski menggunakan cara pengukuran yang berbeda, dalam kenyataan di lapangan, baik SPL maupun IL adalah model pengukuran yang berbasiskan 0 dB sebagai level terendahnya (*hearing threshold*). Kedua-duanya sah dipakai sebagai standar pengukuran tingkat kekuatan bunyi, meski sebenarnya, intensitas aktual dan tekanan aktual yang ditunjukkan oleh kedua model pengukuran melalui angka yang sama memiliki arti yang berbeda; berbeda dalam ukuran dan satuan. Sebagai contoh, 70 dB sama dengan intensitas sebesar 10^{-9} Watt/cm² dan sama dengan tekanan sebesar 0,063 Pa. Fakta penting juga menunjukkan bahwa 70 dB tersebut berkaitan dengan perkiraan tingkat kebisingan dengan pengaruh yang sama. Kata “perkiraan” masih digunakan di sini karena angka tunggal tingkat kebisingan sebagaimana dijumpai di lapangan bergantung pada faktor:

1. Bahwa tekanan bunyi umumnya mengalami fluktuasi setiap waktu.
2. Adanya perbedaan karakteristik tiap-tiap bunyi pada kondisi tekanan yang berbeda.

Terlepas dari adanya faktor yang menurunkan tingkat kesahihan pengukuran bunyi dalam dB, pengukuran kekuatan bunyi dengan satuan dB memudahkan manusia untuk mengetahui ambang batas bawah dan atas dari kekuatan bunyi yang mampu didengar, sebagaimana digambarkan pada Tabel 1.2.

Telinga manusia normal dapat merasakan perbedaan suatu bunyi dengan selisih terkecil 1 dB. Namun demikian, perbedaan yang dapat dirasakan secara normal baru terjadi ketika ada selisih 3 dB. Dengan menggunakan model perbandingan logaritmik, apabila ada dua bunyi yang berbeda 10 dB, maka telinga manusia akan mendengarkan bunyi kedua yang sesungguhnya dua kali lebih keras atau setengah kali lebih pelan dari bunyi pertama.

Tabel 1.2. Ambang batas pendengaran manusia (dalam dB)

Sound Pressure (Pa)	Sound Level (dB)	Contoh keadaan
200	140	Ambang batas atas pendengaran
	130	Pesawat terbang tinggal landas
20	120	Diskotik yang amat gaduh
	110	Diskotik yang gaduh
2	100	Pabrik yang gaduh
	90	Kereta api berjalan
0,2	80	Pojok perempatan jalan
	70	Mesin penyedot debu umumnya
0,02	60	Percakapan dengan berteriak
0,002	30 s.d. 50	Percakapan normal
0,0002	20	Desa yang tenang, angin berdesir
0,00002	0 s.d. 10	Ambang batas bawah pendengaran

Tabel 1.3. Perbedaan tingkat kekuatan bunyi dan penerimaan telinga manusia (Stein, dkk, 1986 dan McMullan, 1991)

Perbedaan dua sumber bunyi	Penerimaan telinga
+/-1 dB	Tidak terlalu berbeda
+/-3 dB	Mulai dapat dibedakan
+/-6 dB	Dapat dibedakan cukup jelas
+/-7 dB	Dapat dibedakan dengan jelas
+ 10 dB	Dua kali lebih keras
-10 dB	Setengah kali lebih pelan
+ 20 dB	Empat kali lebih keras
-20 dB	Seperempat kali lebih pelan

1.9. Phon Scale

Telinga manusia mampu mendengar bunyi pada batas 20 Hz hingga 20 KHz. Namun demikian, telinga sesungguhnya tidak sensitif pada semua frekuensi dalam batas tersebut. Telinga sangat sensitif pada frekuensi 3000 Hz – 4000 Hz dan kurang sensitif pada bunyi-bunyi frekuensi rendah. Pada frekuensi sensitif, dalam keadaan tertentu manusia bahkan mampu mendengar bunyi pada kekuatan -5 dB. Telinga melakukan respons terhadap bunyi secara khusus sesuai frekuensi yang muncul. Respons ini berupa mekanisme dengar/getar yang berbeda agar telinga menjadi lebih sensitif pada bunyi-bunyi yang sebenarnya kurang jelas. Sebagai contoh, ketika mendengar bunyi berfrekuensi rendah, telinga akan melakukan mekanisme tertentu agar dapat mendengar lebih baik. Sebaliknya, telinga juga akan menurunkan tingkat sensitivitas pada bunyi-bunyi yang membuat telinga terlalu sensitif.

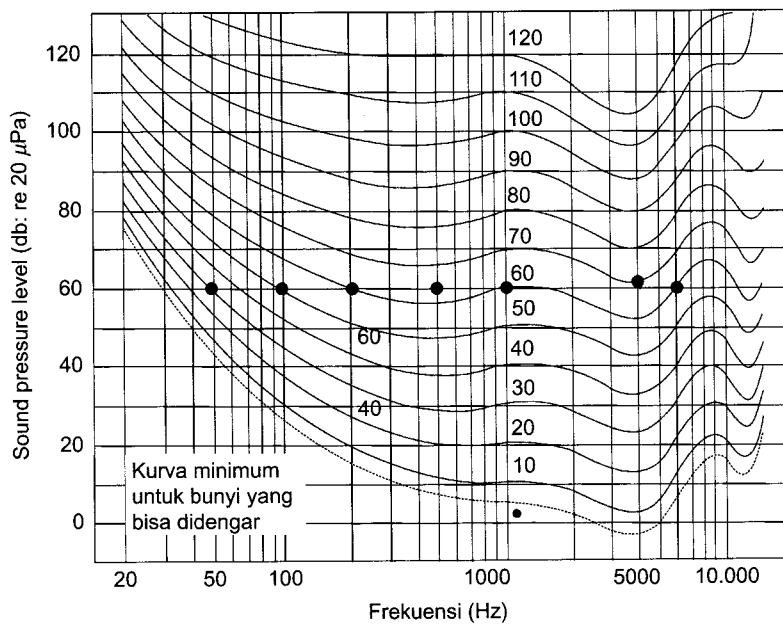
Respons telinga yang berbeda sesuai frekuensi bunyi yang muncul ini menghasilkan grafik yang tidak *linear* (gemaris). Sebuah tes telah dilakukan terhadap batas-batas tertentu. Tes ini menghasilkan serangkaian kurva yang disebut “*equal loudness level contours*” atau disebut juga sebagai “*Fletcher-Munson equal loudness contours*”, yang diambil dari nama dua peneliti utama yang mengadakan tes ini. Kurva ini telah distandarkan secara internasional sebagai kurva referensi untuk menunjukkan respons telinga normal pada tingkat kekuatan bunyi tertentu pada frekuensi tertentu.

Sebagai pedoman, berhubung 0 dB yang dijadikan acuan untuk mengukur intensitas atau tekanan bunyi pada *threshold of hearing* muncul pada frekuensi 1000 Hz, maka keseluruhan kurva dan data yang muncul mengacu pula pada frekuensi ini dengan menggunakan skala *phon* (*phon scale*). *Phon scale* dapat diartikan sebagai tingkat kekerasan bunyi pada frekuensi tertentu yang sama dengan tingkat dB pada frekuensi 1000 Hz pada kontur atau kurva tersebut. Sebagai contoh, cermati Gambar 1.9, bunyi dengan tingkat 60 dB dirasa lebih keras, yaitu dalam tingkat 60 phon, bila berada pada frekuensi 1000 Hz, namun dirasa lebih lemah/pelan, yaitu hanya 30 phon ketika frekuensinya 50 Hz. Perbedaan ini diakibatkan oleh berbedanya respons telinga terhadap frekuensi tertentu, meski sebenarnya bunyi yang muncul sama-sama pada tingkat SPL 60 dB.

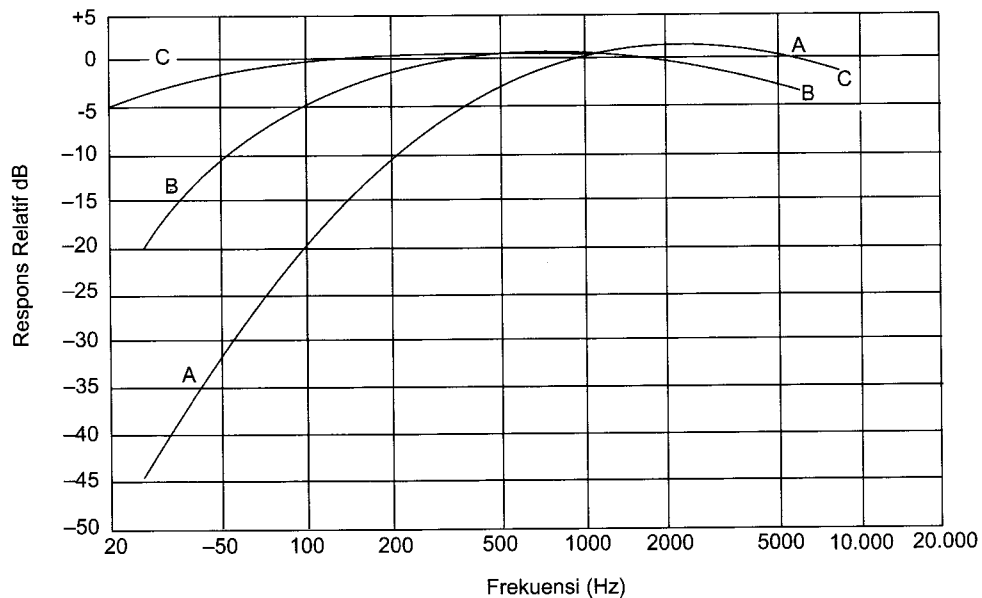
Gambar 1.9 juga menunjukkan bahwa telinga manusia kurang sensitif pada frekuensi rendah, terutama pada tingkat SPL yang amat rendah. Kumpulan kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada tingkat SPL 45 dB sampai 85 dB dan kelompok frekuensi 150 Hz sampai 6000 Hz, kurvanya berkontur hampir rata. Hal ini menunjukkan bahwa respons telinga juga mendatar secara efektif. Telinga manusia merespons sangat ekstrim pada tingkat SPL yang terlalu rendah dan terlalu tinggi (pada frekuensi di bawah 150 Hz dan di atas 6000 Hz).

1.10. Sound Weighting

Respons telinga yang berbeda-beda terhadap bunyi pada frekuensi tertentu akhirnya mengelompokkan bunyi-bunyi dalam bobot tertentu, sesuai kesan atau sensasi yang diterima oleh telinga. Dalam bahasa Inggris, metode ini disebut *sound weighting*. Pembobotan bunyi dibedakan menjadi:



Gambar 1.9. Kurva equal loudness level contours (Stein, dkk, 1986)



Gambar 1.10. Kurva sound weighting (Stein, dkk, 1986)

- Bobot A adalah kategori yang diciptakan pada kondisi telinga kurang baik merespons bunyi-bunyi rendah, sehingga telinga beradaptasi hebat agar mampu mendengar bunyi berfrekuensi rendah. Oleh karenanya, agar telinga tetap memiliki respons yang wajar, frekuensi-frekuensi yang terlalu rendah di bawah 100 Hz seringkali diabaikan (hampir identik dengan 40 phon pada frekuensi 1000 Hz, cermati Gambar 1.9 dan Gambar 1.10)
- Bobot B: skala yang diciptakan pada kondisi telinga merespons bunyi-bunyi sedang (hampir identik dengan 70 phon pada frekuensi 1000 Hz, cermati Gambar 1.9 dan Gambar 1.10)

- Bobot C: skala yang diciptakan ketika telinga seolah mendapat sensasi yang sama atau melakukan respons yang sama terhadap bunyi pada hampir semua frekuensi, sehingga kurvanya hampir mendatar (Gambar 1.10)
- Bobot D: skala yang diciptakan ketika telinga merespons bunyi-bunyi yang muncul dari kapal terbang (pada frekuensi sensitif 2000 – 5000 Hz).

Pada pengukuran secara subjektif terhadap respons telinga tiap-tiap orang, ternyata ditemukan bahwa bobot B dan C seringkali tidak tepat. Hal ini terjadi karena grafik yang dijadikan acuan lebih cenderung untuk mengukur bunyi-bunyi dengan satu jenis *tone* (penekanan) saja, sementara dalam kehidupan sehari-hari, dalam waktu yang bersamaan, seringkali kita mendengar bunyi-bunyi dalam bermacam-macam *tone*. Sebaliknya pada bobot A, hasil pengukuran sensasi tingkat kekerasan yang dirasakan orang umumnya tepat. Itu sebabnya, bobot inilah yang lebih banyak dipakai sebagai pedoman pengukuran.

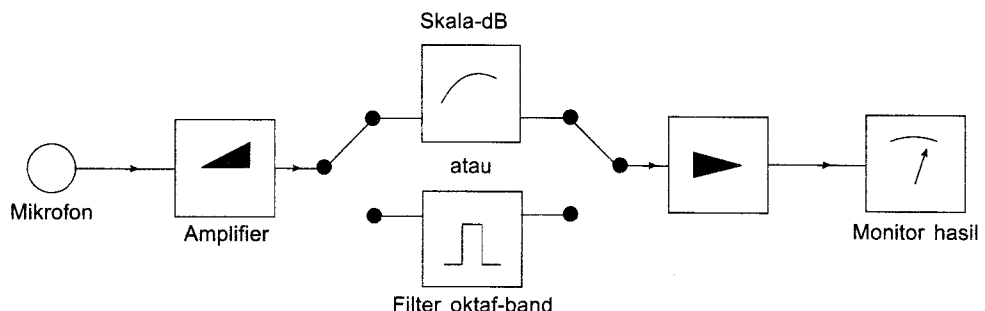
1.11. Sound Level Meter (SLM)

Tingkat kekuatan atau kekerasan bunyi diukur dengan alat yang disebut *Sound Level Meter* (SLM). Alat ini terdiri dari: mikrofon, amplifier, *weighting network* dan layar display dalam satuan dB. Layarnya dapat berupa layar manual yang ditunjukkan dengan jarum dan angka seperti halnya jam manual, ataupun berupa layar digital seperti halnya jam digital. SLM sederhana hanya dapat mengukur tingkat kekerasan bunyi dalam satuan dB, sedangkan SLM yang canggih sekaligus mampu menunjukkan frekuensi bunyi yang diukur. Proses kerja SLM sederhana diilustrasikan dalam Gambar 1.11.

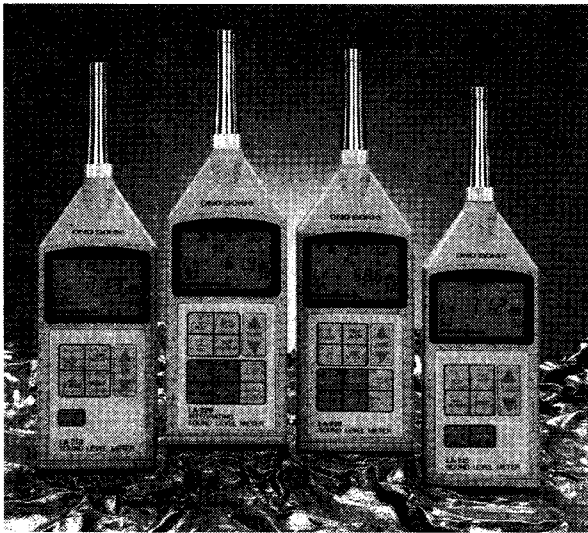
SLM yang amat sederhana biasanya hanya dilengkapi dengan bobot pengukuran A (dBA) dengan sistem pengukuran seketika (tidak dapat menyimpan dan mengolah data), sedangkan yang sedikit lebih baik, dilengkapi pula dengan skala pengukuran B dan C. Beberapa SLM yang lebih canggih dapat sekaligus dipakai untuk menganalisis tingkat kekerasan dan frekuensi bunyi yang muncul selama rentang waktu tertentu (misalnya tingkat kekerasan selama 1 menit, 10 menit, atau 8 jam), dan mampu menggambarkan gelombang yang terjadi. Beberapa produsen menamakannya *Hand Held Analyser* (HHA), ada pula dalam model *Desk Analyser* (DA).

Meski nampak canggih dan rumit, sesungguhnya menggunakan SLM untuk mengukur tingkat kekerasan bunyi tidaklah sulit. Yang terpenting adalah menaati pedoman atau standar yang telah ditetapkan agar hasil pengukurannya menjadi sah. Adapun persyaratan tersebut adalah (Gambar 1.13):

1. Agar posisi pengukuran stabil, SLM sebaiknya dipasang pada tripod. Setiap SLM, bahkan yang paling sederhana, idealnya dilengkapi dengan lubang untuk mendudukkannya pada tripod. SLM yang diletakkan pada tripod lebih stabil posisinya dibandingkan yang dipegang oleh tangan operator (manusia yang mengoperasikannya). Posisi operator yang terlalu dekat

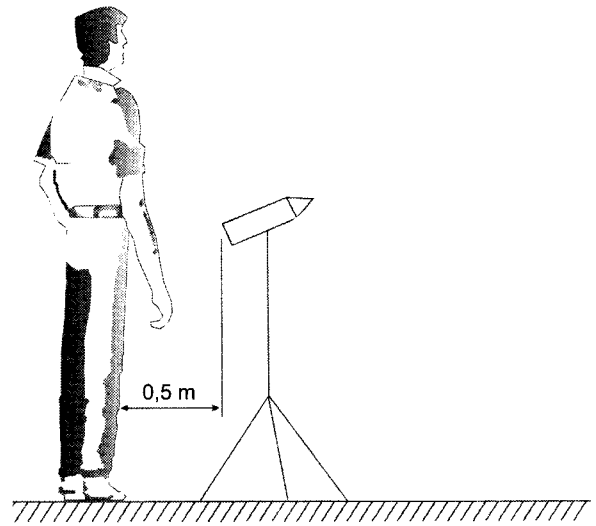


Gambar 1.11. Sistem kerja Sound Level Meter

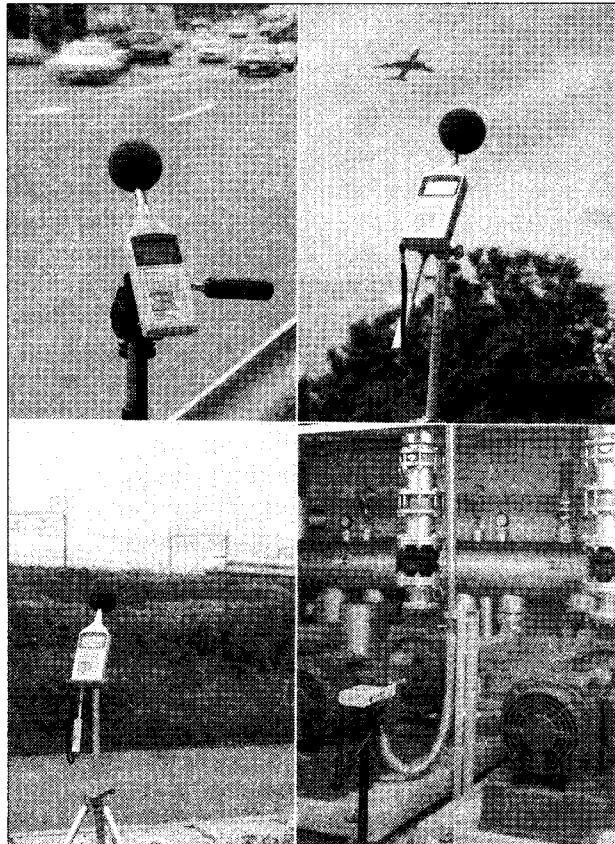


Dok. Ono Sokki

Gambar 1.12. Beberapa model Sound Level Meter

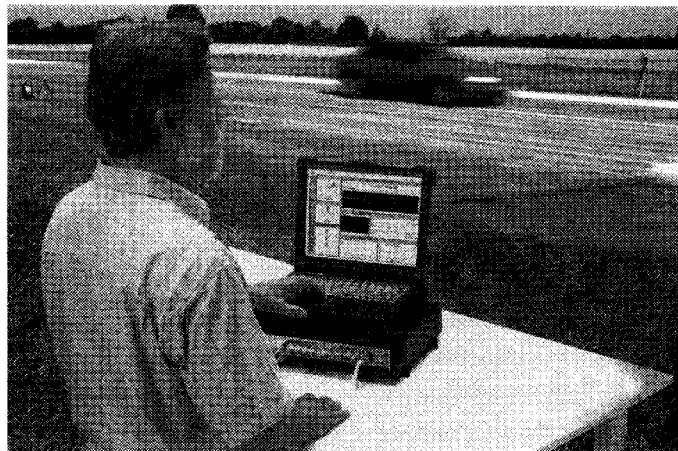


Gambar 1.13. Posisi operator saat menggunakan SLM



Dok. Ono Sokki

Gambar 1.14. Penggunaan SLM untuk beberapa keperluan, (searah jarum jam) kebisingan pesawat terbang, mesin pabrik, kereta api dan jalan raya.



Dok. Bruel & Kjaer

Gambar 1.15. SLM yang langsung terhubung dengan portable analyser

dengan SLM juga dapat mengganggu penerimaan bunyi oleh SLM karena tubuh manusia mampu memantulkan bunyi. Peletakan SLM pada papan, seperti meja atau kursi, juga dapat mengurangi kesahihan hasil pengukuran karena sarana tersebut akan memantulkan bunyi yang diterima.

2. Operator SLM setidaknya berdiri pada jarak 0,5 m dari SLM agar tidak terjadi efek pemantulan.
3. Untuk menghindari terjadinya pantulan dari elemen-elemen permukaan di sekitarnya, SLM sebaiknya ditempatkan pada posisi 1,2 m dari atas permukaan lantai; 3,5 m dari permukaan dinding atau objek lain yang akan memantulkan bunyi.
4. Untuk pengukuran di dalam ruangan atau bangunan, SLM berada pada posisi 1 m dari dinding-dinding pembentuk ruangan. Bila diletakkan dihadapan jendela maka jaraknya 1,5 m dari jendela tersebut. Agar hasil lebih sahih, karena adanya kemungkinan pemantulan oleh elemen pembentuk ruang, pengukuran dengan SLM dalam ruang sebaiknya dilakukan pada tiga titik berbeda dengan jarak antar titik lebih kurang 0,5 m.
5. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sahih dan mampu mencatat semua fluktuasi bunyi yang terjadi, SLM dipasang pada posisi *slow response*.

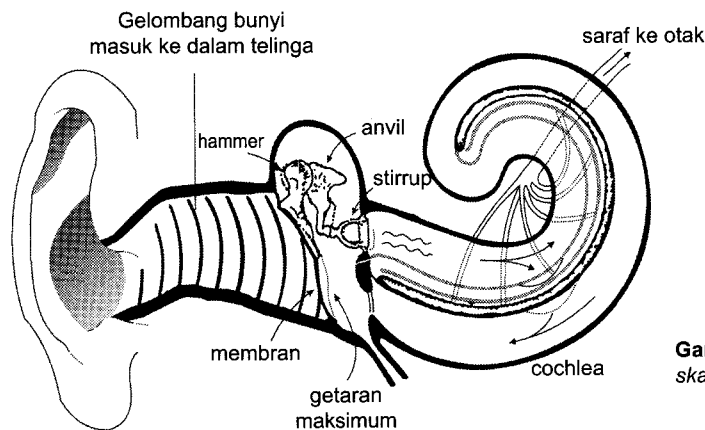
Apabila pengukuran tingkat kekerasan bunyi dilakukan menggunakan SLM, namun tidak mengikuti standar pemakaian SLM sebagaimana disebutkan, pentinglah kiranya disampaikan catatan khusus mengenai kondisi-kondisi yang menyimpang tersebut untuk melengkapi data-data hasil pengukuran yang dihasilkan.

1.12. Telinga Manusia

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, manusia mendengarkan bunyi yang ada di sekitarnya menggunakan indera pendengaran. Bagian pertama indera pendengaran manusia yang menerima perambatan gelombang bunyi adalah daun telinga. Untuk dapat mengetahui secara rinci mengenai mekanisme yang terjadi di dalam telinga sehingga manusia dapat mendengar bunyi, mari kita lihat bagian-bagian telinga manusia, yang dibedakan menjadi tiga bagian sebagai berikut (Gambar 1.16):

1. Telinga luar

Telinga luar terdiri dari daun telinga (dalam bahasa medis disebut *pinna*) dan saluran telinga (yang disebut juga kanal telinga). Rangkaian telinga luar ini bertugas menangkap gelombang bunyi



Gambar 1.16. Bagan telinga manusia (tidak skalatis)

dan meneruskannya ke gendang telinga yang terletak di ujung kanal. Bentuk daun telinga disesuaikan dengan tugasnya sebagai penangkap bunyi, yaitu berbentuk corong yang semakin membesar atau melebar ke arah luar. Sedangkan kanal berbentuk seperti pipa memanjang yang bertugas melindungi gendang telinga.

2. Telinga tengah

Bagian tengah dimulai dari gendang telinga, yaitu sebuah membran yang sangat tipis. Membran ini akan menerima secara langsung getaran yang telah ditangkap oleh daun telinga dan disalurkan melalui kanal. Oleh membran, getaran ini selanjutnya disampaikan pada tiga tulang pengumpil yang masing-masing disebut: *malleus*, *incus*, dan *stapes* (atau dalam bahasa umum dikenal dengan sebutan: *hammer*, *anvil*, dan *stirrup*). Ketiga tulang ini bertugas sebagai medium untuk menyesuaikan perpindahan getaran dari rongga berisi udara ke rongga berisi cairan yang mengisi telinga tengah. Rongga udara pada telinga tengah terhubung dengan kerongkongan melalui suatu saluran yang disebut *eustachian*. Pada telinga tengah juga terdapat tiga saluran setengah lingkaran berisi cairan yang bertugas mengatur keseimbangan manusia.

3. Telinga dalam

Telinga dalam terdiri dari saluran berisi cairan yang berbentuk seperti rumah siput yang disebut *cochlea*. Selain cairan, di dalam *cochlea* terdapat membran yang disebut *basilar* yang membagi rongga *cochlea* sepanjang saluran itu. Rangkaian telinga dalam ini bertugas untuk mengubah getaran mekanik yang diterimanya dari telinga tengah menjadi denyut elektrik yang selanjutnya dikirim ke otak oleh sekitar 25.000 saraf yang terdapat di ujung akhir membran.

Uraian di atas menunjukkan bahwa mekanisme kerja telinga dalam menangkap dan menginterpretasikan bunyi tidak terlepas dari otak. Kondisi telinga beserta kemampuan interpretasi tiap individu yang berbeda juga memiliki andil dalam menyebabkan penerimaan masing-masing individu pada sebuah bunyi berbeda-beda pula.

1.13. Gangguan pada Telinga

Elemen telinga dan mekanisme kerja telinga yang telah diuraikan dalam bagian sebelumnya adalah kondisi pada telinga normal. Apabila karena suatu sebab ditemukan kondisi elemen dan terjadi mekanisme yang menyimpang, maka dapat dikatakan bahwa telinga mengalami gangguan, sehingga kualitas bunyi yang diterima menjadi tidak sebagaimana mestinya. Telinga manusia normal mampu mendengar bunyi pada 20 dB dalam jarak 6 meter sampai 8 meter dari sumber bunyi. Apabila dibutuhkan jarak yang lebih dekat untuk mampu mendengarkan bunyi ini, maka dapat dipastikan telinga mengalami gangguan. Gangguan ini dapat terjadi karena adanya penurunan kemampuan pada salah satu atau lebih elemen telinga, tetapi dapat pula disebabkan adanya mekanisme yang menyimpang.

Gangguan pada telinga dapat dibedakan sebagai gangguan yang muncul sementara dan gangguan yang terjadi permanen. Gangguan sementara umumnya terjadi pada telinga luar, seperti ketika pada telinga luar terdapat objek yang tidak semestinya, misalnya air, kapas, atau kotoran yang tidak dibersihkan. Namun demikian, gangguan sementara juga dapat terjadi pada keseluruhan telinga, misalnya ketulian sementara selama beberapa menit karena telinga baru saja mendengarkan suatu bunyi amat keras yang muncul dengan tiba-tiba, seperti suara ledakan bom.

Gangguan mendengar yang terjadi pada telinga umumnya berupa menurunnya kemampuan mendengar atau ketulian. Ketulian dapat terjadi pada usia muda karena satu dan lain hal, dan hal ini terjadi pula pada manusia normal seiring bertambahnya usia. Keadaan ini disebut *presbycusis*, yaitu menurunnya kemampuan mendengar secara bertahap karena faktor usia.

Menurut jarak pendengarnya, ketulian dibedakan menjadi empat (Feldman, dalam Agustian, 1995) yaitu:

1. *Tuli ringan*, ketika untuk mendengar bunyi dengan kekuatan 20 s.d. 40 dB, jarak antara sumber bunyi dengan telinga adalah 4 sampai 5,9 meter
2. *Tuli sedang*, ketika untuk mendengar bunyi dengan kekuatan 40 s.d. 60 dB, jarak antara sumber bunyi dengan telinga adalah 1 sampai 3,9 meter
3. *Tuli berat*, ketika untuk mendengar bunyi dengan kekuatan 60 s.d. 80 dB, jarak antara sumber bunyi dengan telinga adalah 20 sampai 90 sentimeter
4. *Tuli total*, ketika untuk mendengar bunyi dengan kekuatan 80 s.d. 110 dB, jarak antara sumber bunyi dengan telinga kurang dari 15 sentimeter.

Ketulian ringan dan sedang biasanya terjadi karena adanya kerusakan pada organ telinga tengah. Sedangkan tuli berat dan total, biasanya dijumpai pada orang yang mengalami kerusakan organ pada telinga dalam. Sementara itu, menurut letak kerusakannya, ketulian dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Ketulian pada telinga tengah

Ketulian ini akibat adanya kerusakan pada sistem transfer bunyi melalui tulang penghubung (tulang rawan yang membentuk saluran telinga). Hal ini dapat disebabkan karena infeksi atau pecahnya gendang telinga. Pada kondisi ini telinga masih dapat menangkap bunyi-bunyi pada frekuensi tinggi. Ketulian jenis ini masih dapat diatasi dengan obat atau dengan pembedahan.

2. Ketulian pada telinga dalam

Ketulian ini terjadi akibat kerusakan saraf yang terdapat dalam rumah siput (*cochlea*) atau saraf yang bertugas mengirim berita ke otak. Hal ini dapat diakibatkan oleh infeksi, luka di kepala, kepala terbentur dengan keras, atau karena mendengarkan bunyi yang terlampau keras pada ambang batas pendengaran manusia. Ketulian akibat mendengarkan bunyi pada ambang batas atas (*threshold of pain*) dibedakan menjadi tuli sementara (yang akan membaik dalam satu atau dua hari) dan tuli permanen.

Gangguan lain yang muncul akibat kerusakan organ pendengaran adalah *tinitus*. *Tinitus* adalah sebutan untuk bunyi dengung terus menerus yang muncul di telinga. Penyakit ini biasanya menyerang mereka yang terbiasa bekerja berdekatan dengan sumber bunyi yang keras secara terus menerus, misalnya: pekerja pabrik yang mengoperasikan mesin-mesin berbunyi keras tanpa menggunakan pelindung telinga. Sebagai manusia normal, seringkali kita pun mendengar bunyi dengung sesaat. Menurut kepercayaan Jawa, mereka yang telinganya sedang mendengarkan sesungguhnya sedang menjadi bahan pembicaraan orang lain. Bunyi dengung ini hanya muncul sementara, namun bunyi dengung yang berupa *tinitus* adalah bunyi dengung yang muncul terus menerus selama dua puluh empat jam sehari, sehingga sulit dibayangkan bagaimana tersiksanya mereka yang menderita *tinitus*. Penyakit ini belum dapat disembuhkan dengan obat. Sebuah penelitian yang dilakukan di Inggris berhasil menemukan pola gelombang bunyi dengung yang muncul pada *tinitus* dan kini telah menemukan solusi untuk meniadakan *tinitus*, dengan jalan memasang alat kecil di telinga yang

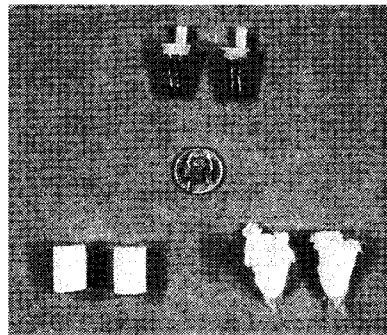
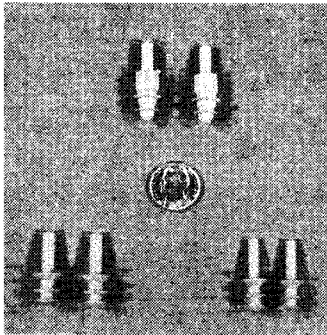
menghasilkan bunyi dengan pola gelombang berlawanan atau berkebalikan dari bunyi dengung yang diderita, sehingga kedua gelombang bunyi tersebut akan saling meniadakan. Dengan alat ini, bunyi dengung yang terjadi diharapkan dapat dikurangi atau bahkan ditiadakan.

1.14. Alat Pelindung Telinga

Berbeda dengan mata yang dapat menutup atau ditutup ketika didekati objek yang akan merusaknya misalnya ketika mata melihat sinar berlebihan atau hal-hal lain yang tidak dikehendaki, telinga manusia tidak dapat menutup atau ditutup dengan sendirinya ketika mendengarkan bunyi-bunyi yang tidak dikehendaki atau bunyi-bunyi yang terlalu keras. Oleh karena itu, pada beberapa keadaan, telinga seringkali membutuhkan pelindung telinga.

Bagi mereka yang senantiasa beraktivitas di dekat peralatan atau objek yang menghasilkan bunyi-bunyi yang dapat mengganggu organ pendengaran, pemakaian pelindung telinga atau *ear protection* sangat disarankan. Seiring kemajuan jaman, model dan bahan *ear protection* kini telah sangat beragam, mulai dari yang sangat kecil untuk dimasukkan ke lubang telinga (baik yang sekali pakai maupun yang dapat digunakan kembali) sampai yang agak besar seperti *headphone* (Gambar 1.17 dan 1.18).

Sementara itu, bagi mereka yang beraktivitas secara normal dalam bangunan di tepi jalan raya, *ear protection* adalah elemen selubung bangunan itu sendiri, seperti dinding, atap, maupun lantai. Pembahasan mengenai bangunan sebagai *ear protection* ini disampaikan pada bab-bab selanjutnya.



Dok. McMullan

Gambar 1.17. Beberapa model *ear protection* yang dimasukkan ke dalam lubang telinga. Bandingkan dimensinya dengan keping uang logam ditengah-tengah gambar.



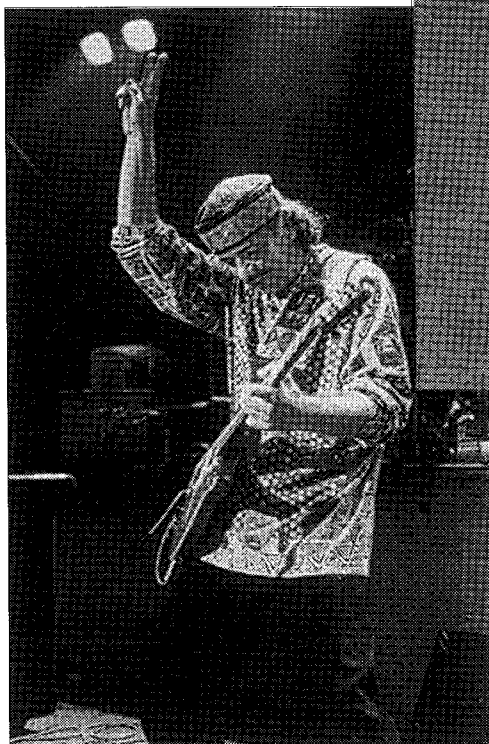
Dok. Mediastika

Gambar 1.18. *Ear protection* dalam bentuk *headphone*

Soal Latihan

1. Jelaskan secara singkat, bagaimana mekanisme yang terjadi sehingga manusia dapat mendengar bunyi dari sekitarnya!
2. Suatu jenis bunyi dengan frekuensi 440 Hz memiliki kecepatan rambat 340 m/det. Hitunglah panjang gelombangnya!
3. Bila suatu sumber bunyi mengeluarkan kekuatan sebesar 0,01 Watt, hitung intensitasnya (dalam Watt/m^2) pada jarak 8,9 m dari sumber tersebut!
4. Intensitas suatu bunyi diukur dari jarak 6 m adalah $3,4 \times 10^{-6} \text{ Watt/m}^2$. Hitunglah intensitasnya bila diukur dari jarak 20 m!

BAGIAN II KEBISINGAN



Bab 2

NOIS DAN KEBISINGAN

Menurut *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms* (Parker, 1994), *noise* adalah *sound which is unwanted* (bunyi yang tidak dikehendaki). Kata ini disepadankan dengan kata Indonesia kebisingan atau derau. Sebenarnya ini tidak sepenuhnya tepat karena kedua kata tersebut menjelaskan keadaan bunyi yang keras atau gemuruh. Sesungguhnya, gangguan yang ditimbulkan *noise* tidak harus berupa bunyi yang keras. Bagi mereka yang sedang sakit gigi dan sangat membutuhkan istirahat, bahkan bunyi tetesan air pun dapat menjadi gangguan. Dalam buku ini, *noise* diacu sebagai **nois** yang berbeda arti dari kebisingan atau derau. Baik **nois** maupun kebisingan diuraikan secara rinci dalam bab ini.

2.1. Batasan Nois

Nois senantiasa dihubungkan dengan ketidaknyamanan yang diakibatkan olehnya. Belum banyak orang yang menyadari bahwa munculnya **nois** juga dapat mengakibatkan penurunan kesehatan. Uraian berikut diharapkan dapat menjelaskan kaitan keduanya secara lebih jelas. Sebagai contoh, orang yang sulit beristirahat karena di sekitar rumahnya selalu ramai dengan bunyi yang tidak dikehendaki, lambat-laun dapat menurun tingkat kesehatannya. Selanjutnya, masalah psikologi pun dapat muncul akibat dari istirahat yang kurang mencukupi, seperti cepat lelah dan mudah marah (Nilsson, 1991). Sebagaimana diuraikan pada Bab I mengenai indera pendengaran, **nois** yang berasal dari bunyi yang amat keras bahkan dapat secara langsung menurunkan kemampuan organ pendengaran, meskipun hal itu terjadi secara bertahap.

Nois bersifat subjektif, sehingga batasan **nois** bagi orang yang satu bisa saja berbeda dengan batasan **nois** bagi orang yang lain. Subjektivitas **nois** bergantung pada:

1. Lingkungan dan keadaan

Jangankan bunyi yang keras, bunyi yang cukup pelan pun dapat mengganggu mereka yang sedang sakit, beristirahat, atau harus memusatkan pikiran untuk menghadapi tugas. Sementara itu, bagi orang lain yang sedang sehat, bunyi dengan tingkat kekerasan yang sama mungkin tidak menimbulkan gangguan yang berarti. Toleransi manusia terhadap **nois** juga berbeda bergantung pada lokasi dan kegiatannya. Sebagai contoh, meski sama-sama membaca, seseorang yang sedang berada di bengkel kendaraan bermotor masih bisa memusatkan perhatiannya meski berada di tempat yang bising. Namun, tidak demikian halnya ketika dia berpindah ke ruang baca perpustakaan, tingkat kebisingan yang sama tentu dirasakannya sangat mengganggu.

2. Sosial budaya

Setiap orang memiliki gaya hidup tersendiri. Belum lagi lingkungan budaya asalnya pun berbeda-beda. Hal-hal tersebut akan menyebabkan masing-masing orang memiliki toleransi berbeda terhadap **nois**. Misalnya, mereka yang dilahirkan dari keluarga yang berbudaya halus tutur-katanya, mungkin akan merasa kurang nyaman bila bercakap-cakap dengan mereka yang dilahirkan dari keluarga yang biasa berbicara keras. Gaya bicara individu pada kelompok kedua bisa dianggap **nois** bagi kelompok pertama.

3. Kegemaran atau hobi

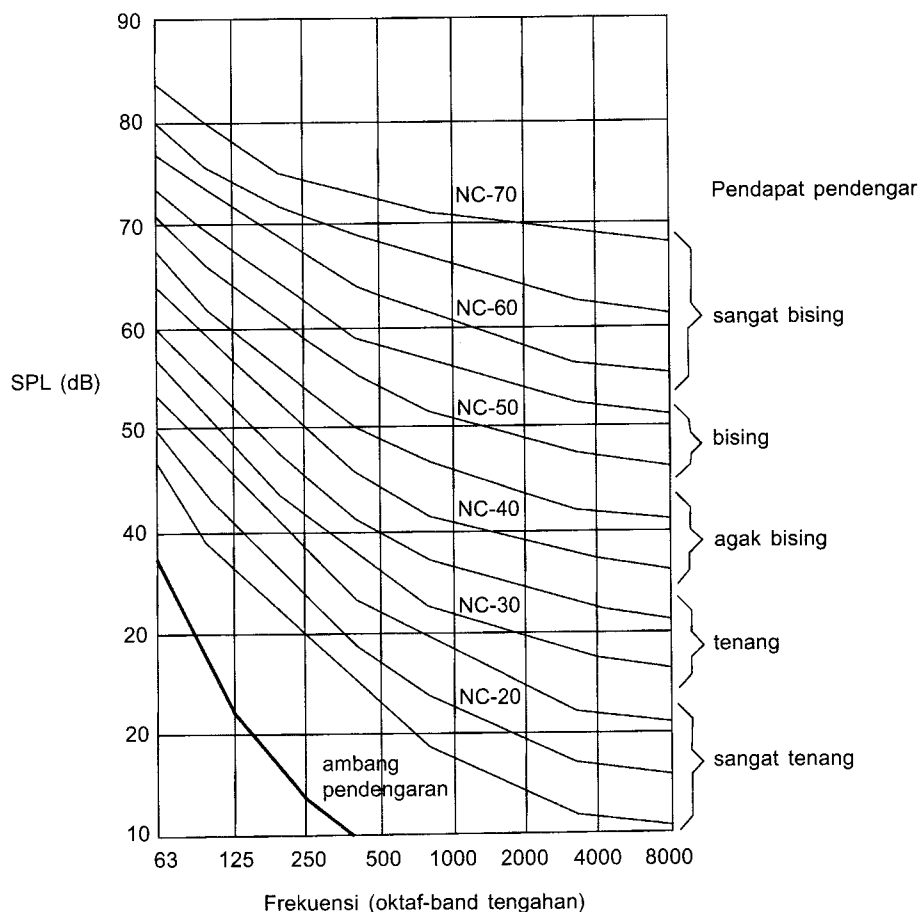
Kegemaran sekelompok orang akan jenis musik tertentu dapat menjadi nois bagi kelompok lainnya yang kebetulan amat tidak menyukai jenis musik tersebut. Contoh lain, mereka yang memiliki hobi otomotif dan senang *mengutak-atik* serta mencoba mesin kendaraan, tidak akan merasa terganggu dengan bunyi raungan mesin dibandingkan orang lain yang tidak mengenal hobi tersebut.

Melalui uraian di atas diharapkan menjadi jelas, bahwa batasan nois sangat subjektif bagi masing-masing orang. Namun demikian, ada jenis bunyi yang dianggap nois bagi kebanyakan orang yaitu bunyi keras yang muncul mendadak, bunyi keras yang muncul terus-menerus serta bunyi mesin-mesin, entah mesin pabrik atau mesin sarana angkut (Sanders dan McCormick, 1987). Dalam nois dikenal istilah *background noise* (nois latar belakang), *noise* (nois) dan *ambient noise* (nois ambien). Nois latar belakang adalah bunyi di sekitar kita yang muncul secara tetap dan stabil pada tingkat tertentu. Nois latar belakang yang nyaman berada pada tingkat kekerasan tidak melebihi 40 dB. Yang masuk dalam kategori nois adalah bunyi yang muncul secara tidak tetap atau seketika dengan tingkat kekerasan melebihi nois latar belakang pada daerah tersebut. Sementara nois ambien adalah tingkat kebisingan di sekitar kita, yang merupakan gabungan antara nois latar belakang dan nois.

Selain ditentukan oleh tingkat kebisingan (dB), tingkat gangguan nois latar belakang juga ditentukan oleh frekuensi bunyi yang muncul. Oleh karenanya, kedua faktor itu kemudian dipertimbangkan bersama dalam sebuah pengukuran yang disebut *Noise Criteria* (NC), sebagaimana disajikan pada Gambar 2.1. Semua kurva ini menunjukkan tingkat ketenggangan telinga manusia pada bunyi multifrekuensi yang menjadi nois latar belakang. Dari Gambar 2.1. dapat dipelajari bahwa meski setiap kurva mewakili nilai NC tertentu, namun pada frekuensi tinggi secara umum nilai SPL-nya rendah/menurun. Hal ini menunjukkan bahwa telinga manusia lebih nyaman (tidak merasa nyeri atau sakit) mendengar bunyi berfrekuensi rendah ketimbang mendengar bunyi berfrekuensi tinggi. Spektrum bunyi yang dikeluarkan oleh objek yang menghasilkan nois latar belakang idealnya persis seperti tergambar, untuk mencegah munculnya ketidaknyamanan. Pergeseran bentuk kurva dimungkinkan pada posisi sebanyak-banyaknya lebih tinggi 3 dB pada salah satu atau dua frekuensi seperti tercantum asalkan dua sampai empat frekuensi yang lain lebih rendah 3 dB dari kurva tergambar. Sebagai contoh, jika sebuah ruang idealnya memiliki NC 30, maka bunyi multi

Tabel 2.1. Rekomendasi nilai *Noise Criteria* (NC) untuk fungsi tertentu (Egan, 1976)

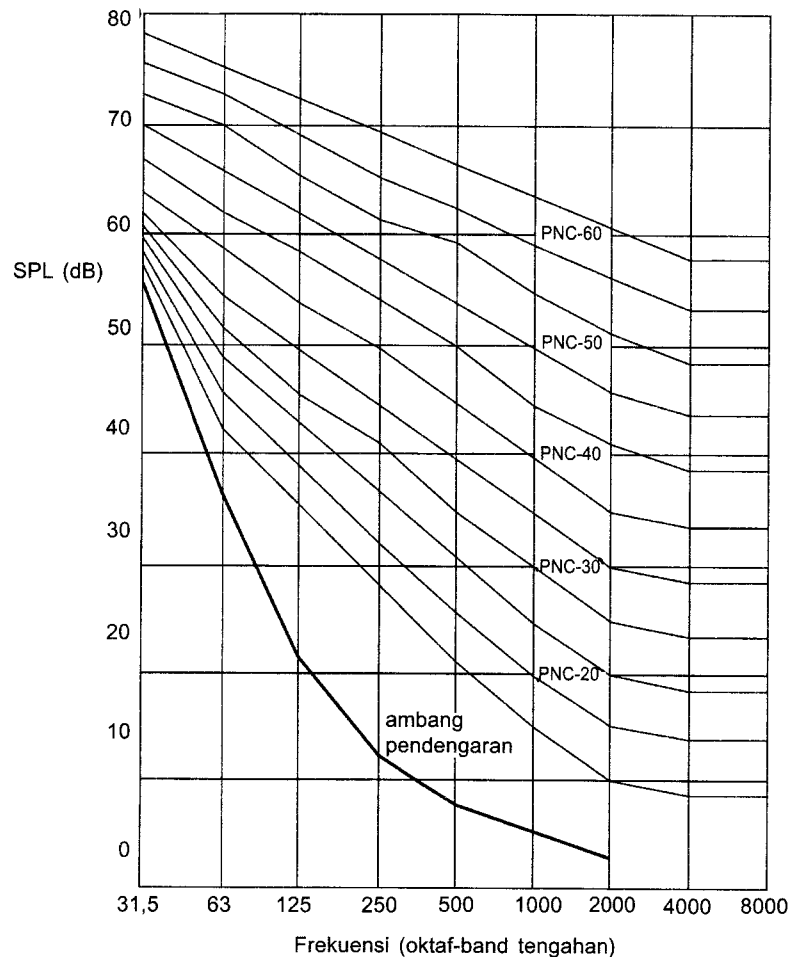
Fungsi Bangunan/Ruang	Nilai NC yang disarankan	Identik dengan tingkat kebisingan (dBA)
Ruang konser, opera, studio rekam, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang sangat detil	NC 15 – NC 20	25 s.d. 30
Rumah sakit, dan ruang tidur/istirahat pada rumah tinggal, apartemen, motel, hotel, dan ruang lain untuk istirahat/tidur	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40
Auditorium multi fungsi, studio radio/televisi, ruang konferensi, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang sangat baik	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40
Kantor, kelas, ruang baca, perpustakaan, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang baik	NC 30 – NC 35	40 s.d. 45
Kantor dengan penggunaan ruang bersama, kafetaria, tempat olah raga, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang cukup	NC 35 – NC 40	45 s.d. 50
Lobi, koridor, ruang bengkel kerja, dan ruang lain yang tidak memerlukan tingkat akustik yang cermat	NC 40 – NC 45	50 s.d. 55
Dapur, ruang cuci, garasi, pabrik, pertokoan	NC 45 – NC 55	55 s.d. 65



Gambar 2.1. Kurva Noise Criteria (NC) (Egan, 1976)

Tabel 2.2. Batas SPL untuk NC yang dibakukan
(untuk memudahkan pembacaan Gambar 2.1) (Egan, 1976)

Kurva NC	Sound Pressure Level (SPL) dalam dB							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
NC-70	83	79	75	72	71	70	69	68
NC-65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC-60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC-55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC-50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC-45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC-40	64	57	50	45	41	39	38	37
NC-35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC-30	57	48	41	36	31	29	28	27
NC-25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC-20	50	41	33	26	22	19	17	16
NC-15	47	36	29	22	17	14	12	11



Gambar 2.2. Kurva Preferred Noise Criteria (PNC) (Egan, 1976)

Tabel 2.3. Batas SPL untuk PNC yang dibakukan
(untuk memudahkan pembacaan Gambar 2.2) (Egan, 1976)

Kurva PNC	Sound Pressure Level (SPL) dalam dB								
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
PNC-65	79	76	73	70	67	64	61	58	58
PNC-60	76	73	69	66	63	59	56	52	53
PNC-55	73	70	66	62	59	55	51	48	48
PNC-50	70	66	62	58	54	50	46	43	43
PNC-45	67	63	58	54	50	45	41	38	38
PNC-40	64	60	54	50	45	40	35	33	33
PNC-35	62	55	50	45	40	35	30	28	28
PNC-30	61	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC-25	60	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC-20	59	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC-15	58	43	35	28	21	15	10	8	8

frekuensi yang terdiri dari frekuensi 63 Hz – memiliki *Sound Pressure Level* (SPL) tertinggi pada 50 dB, frekuensi 125 Hz – SPL 42 dB, frekuensi 250 Hz – SPL 35 dB, dan seterusnya. NC 30 masih dapat terjadi ketika pada frekuensi 63 Hz – SPL-nya 53 dB dan pada frekuensi 250 Hz – SPL-nya 38 dB, asal setidaknya pada dua frekuensi yang lain nilai SPL-nya 3 dB lebih rendah dari yang tergambar. Beberapa penelitian lanjutan justru menemukan bahwa kurva NC masih belum nyaman dipakai untuk menentukan nois latar belakang yang sesuai untuk tiap-tiap fungsi ruang, maka diciptakanlah kurva *Preferred Noise Criteria* (PNC) yang tingkat SPL-nya, baik pada frekuensi rendah dan tinggi, lebih rendah dari NC. Persyaratan kenaikan dan penurunan SPL-pun lebih ketat dibandingkan kurva NC, yaitu hanya boleh lebih tinggi 2 dB pada satu frekuensi saja asalkan frekuensi di kiri-kanannya tidak lebih rendah 1 dB dari SPL yang tercatat pada kurva dimaksud.

Pada keadaan tertentu, kehadiran nois latar belakang seringkali dibutuhkan untuk menyamarkan bunyi tertentu, agar tidak terdengar oleh orang lain. Sebagai contoh, nois latar belakang sengaja diciptakan dengan memperdengarkan musik pada suatu café. Selain untuk menciptakan suasana tertentu, bunyi musik juga membuat pengunjung merasa lebih nyaman. Percakapan sekelompok pengunjung tidak dapat didengarkan secara jelas oleh kelompok pengunjung yang lain, meskipun percakapan dilakukan secara biasa (tidak berbisik-bisik). Nois latar belakang tidak selalu berupa musik, tetapi bisa jadi berupa keramaian lalu lintas, desir angin, kicau burung dan alunan ombak.

Uraian selanjutnya dalam buku ini akan lebih mengacu pada hal-hal yang dianggap nois oleh masyarakat umum, yaitu bunyi sangat keras yang muncul terus-menerus. Bunyi ini selanjutnya disebut kebisingan.

2.2. Karakteristik Kebisingan dan Tanggapan Masyarakat

Sebagaimana telah diuraikan, tiap individu memiliki subjektivitas terhadap nois, begitupun sesungguhnya tiap individu juga memiliki subjektivitas terhadap kebisingan. Toleransi manusia terhadap kebisingan bergantung pada faktor akustikal dan non-akustikal (Sanders dan McCormick, 1987). Faktor akustikal meliputi: tingkat kekerasan bunyi, frekuensi bunyi, durasi munculnya bunyi, fluktuasi kekerasan bunyi, fluktuasi frekuensi bunyi, dan waktu munculnya bunyi. Sementara faktor non-akustikal meliputi: pengalaman terhadap kebisingan, kegiatan, perkiraan terhadap kemungkinan munculnya kebisingan, manfaat objek yang menghasilkan kebisingan, kepribadian, lingkungan dan keadaan. Semua faktor tersebut harus diperhitungkan setiap kali mengukur tingkat kebisingan pada suatu tempat, sehingga data yang dihasilkan menjadi sah dan solusi yang diterapkan lebih tepat.

Kebisingan dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu: kebisingan tunggal dan kebisingan majemuk. Kebisingan tunggal dihasilkan oleh sumber bunyi berbentuk titik dan kebisingan majemuk dihasilkan oleh sumber berbentuk garis. Tingkat gangguan kebisingan dapat diukur menggunakan skala berdasarkan apa yang dirasakan manusia, seperti: merasakan adanya kebisingan, merasa terusik, merasa terganggu, sampai merasa sangat terganggu atau tidak tahan.

2.3. Baku Kebisingan

Menyadari dampak yang ditimbulkan oleh kebisingan, pemerintah negara maju telah mengupayakan agar permasalahan kebisingan dipahami oleh masyarakat umum dan diatur dalam perundangan yang ketat disertai sanksi bagi yang menghasilkan kebisingan tersebut. Meski demikian, negara-negara berkembang sering menghadapi kendala untuk menetapkan peraturan yang ketat. Alasan utamanya adalah tingkat pertumbuhan ekonomi masyarakat yang masih rendah. Hal ini mengakibatkan banyaknya peralatan dan mesin yang sesungguhnya sudah tidak laik pakai masih banyak dipergunakan. Peralatan dan mesin semacam ini menimbulkan kebisingan yang tinggi. Pemerintah negara berkembang umumnya juga tidak memiliki pedoman perencanaan kota yang baik, sehingga penambahan pemakaian alat angkut bermotor belum diikuti pertumbuhan lebar dan panjang ruas jalan yang memadai.

Pemerintah Indonesia memiliki aturan kebisingan dalam Undang-Undang No. 16/2002 mengenai Bangunan Gedung (UUBG). Dalam UUBG, peraturan kebisingan hanya dimasukkan dalam pasal

mengenai kenyamanan, belum sampai pada pasal mengenai kesehatan. Kebisingan juga diatur dalam Peraturan MenKes No. 718/MenKes/Per/XI/87 dan Keputusan Dirjen Pemberantasan Penyakit Menular (PPM) No. 70-I/PP.03.04.LP. Dari peraturan tersebut, diperolehlah bakuan tingkat kebisingan menurut pintakat peruntukan (*zone*) sebagaimana tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. *Pintakat peruntukan*
(Peraturan MenKes No. 718/MenKes/Per/XI/87, dalam Lutfi, 1995)

Pintakat	Peruntukan	Tingkat Kebisingan (dBA) Maksimum di dalam bangunan	
		Dianjurkan	Diperbolehkan
A	Laboratorium, rumah sakit, panti perawatan	35	45
B	Rumah, sekolah, tempat rekreasi	45	55
C	Kantor, pertokoan	50	60
D	Industri, terminal, stasiun KA	60	70

Pada kenyataannya, dengan semakin bertambahnya pemakaian kendaraan bermotor, tingkat kebisingan di tepi jalan raya di beberapa kota besar di Indonesia umumnya mendekati 70 hingga 80 dBA. Kenyataan ini menunjukkan bahwa bangunan yang berlokasi di tepi jalan perlu dirancang secara cermat agar tingkat kebisingan di dalam bangunan sesuai dengan bakuan yang telah ditetapkan. Mengapa kiranya bangunan perlu dengan sengaja dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi kebisingan?

Sampai saat ini, mengatasi kebisingan dengan jalan membatasi atau meniadakan sumber kebisingan belum dapat diterapkan. Sebagai contoh, aturan ketat yang membatasi dan menerapkan sanksi kepada mereka yang menghasilkan kebisingan melebihi bakuan belum diterapkan di Indonesia. Di sisi lain, membatasi jumlah kendaraan bermotor yang menghasilkan kebisingan, juga tidak mudah diterapkan, sebab hal ini sangat berkaitan dengan usaha meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat.

2.4. Mengukur Tingkat Kebisingan

Sebagaimana diuraikan dalam Bab 1, untuk mengetahui tingkat kekerasan bunyi, digunakan alat bernama pengukur tingkat bunyi (*Sound Level Meter (SLM)*), maka untuk mengukur tingkat kebisingan pada suatu area juga digunakan alat yang sama. Untuk mengetahui secara jelas pola kebisingan pada suatu area yang berdekatan dengan objek yang menghasilkan kebisingan, pengukuran dengan SLM tidak dapat sekedar dilakukan sesaat dalam waktu tertentu. Idealnya pengukuran dilakukan selama beberapa saat dalam suatu periode tertentu. Cara ini penting untuk mendapatkan gambaran pasti terhadap pola kebisingan sesungguhnya, terutama kebisingan yang muncul secara fluktuatif, seperti kebisingan di jalan raya akibat lalu-lalangnya kendaraan bermotor.

Pengukuran kebisingan di jalan raya idealnya dilakukan 24 jam selama beberapa hari, dibedakan antara hari kerja dan hari libur (*weekdays* dan *weekend*) serta antara jam sibuk (*peak hour*) dan jam tidak sibuk. Pengukuran yang dilakukan sedikitnya tiga minggu berturut-turut akan menunjukkan pola yang lebih pasti terhadap hari yang berbeda (setiap hari yang berbeda diukur selama tiga kali). Namun, apabila karena keterbatasan peralatan, pengukuran selama 24 jam tidak dapat dilakukan secara terus menerus selama tiga minggu, maka pengukuran dapat dilakukan selama 18 jam per hari. Lama pengukuran ini akan memungkinkan alat untuk beristirahat. Pengukuran selama 18 jam per hari dapat dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa pada setiap area, umumnya terdapat enam jam tenang dalam satu harinya. Pada saat itu, hanya kebisingan latar belakang saja yang ada. Keadaan ini umumnya terjadi pada malam hari. Meskipun demikian, setiap daerah memiliki enam jam tenang pada waktu-waktu yang berbeda. Sebagai contoh, di lingkungan perumahan, enam jam tenang berawal

pada pukul 23.00 dan berakhir pada pukul 05.00, sementara pada daerah yang berdekatan dengan pasar sayur-mayur, enam jam tenang adalah dari pukul 18.00 hingga 24.00.

2.5. Penumpukan atau Akumulasi Tingkat Kebisingan

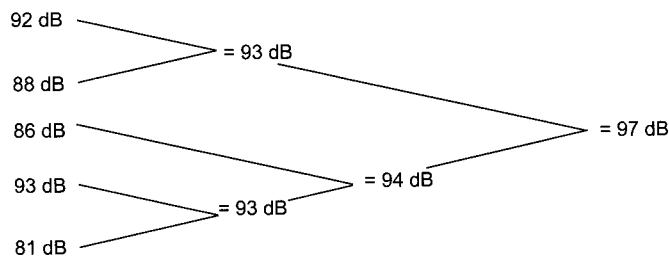
Dalam teori dikenal kemungkinan munculnya sumber bunyi berbentuk titik atau bersifat tunggal. Dalam kehidupan sehari-hari, sangat jarang kita hanya mendengar satu bunyi saja. Sesungguhnya pada umumnya sumber bunyi berbentuk garis (gemaris, linier) dan berasal dari sumber majemuk. Jadi, kita sebenarnya mendengarkan tumpukan beberapa bunyi dengan tingkat kebisingan yang berbeda-beda. Ada cara sederhana yang dapat kita gunakan untuk menghitung berapa tumpukan kebisingan yang terjadi dengan melakukan pengelompokan berdasarkan frekuensinya, misalnya: rendah, sedang, dan tinggi. Untuk bunyi semacam ini, terdapat pedoman yang dijadikan acuan untuk menghitung tumpukan bunyi yang terjadi, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Pedoman menghitung penumpukan bunyi (Egan, 1976)

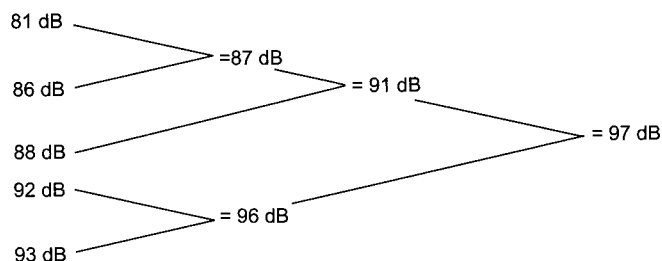
Perbedaan tingkat kekerasan bunyi (dalam dB)	Tambahkan pada bunyi yang lebih tinggi (dalam dB)
0 – 1	3
2 – 3	2
4 – 8	1
≥ 9	0

Penghitungan tumpukan kebisingan secara sederhana seperti di atas tidak selalu memberikan hasil yang mengecewakan. Terbukti bahwa tingkat simpangannya selalu lebih rendah daripada 1 dB.

Sebagai contoh, menurut cara penghitungan di atas, ketika muncul dua bunyi dengan tingkat kekuatan 60 dB dan 62 dB, didapatkan bahwa kekuatan tumpukan dari kedua bunyi tersebut adalah 64 dB. Bila dihitung dengan rumus sesungguhnya, hasilnya adalah 64,4 dB. Kesalahan penghitungan sebesar 0,4 dB dianggap tidak penting karena selisih bunyi 0,4 dB tidak memberikan perbedaan yang berarti pada indera dengar manusia (lihat Tabel 1.3.). Bila yang hendak dihitung tumpukannya berasal dari lebih dari dua bunyi, maka kita dapat menghitungnya dua demi dua, menurut urutan yang dapat ditetapkan sendiri. Penghitungan dengan urutan yang berbeda umumnya memberikan hasil akhir yang sama. Andaikan dijumpai selisih, pasti sebanyak-banyaknya hanya 1 dB dan ini dapat diabaikan. Sebagai contoh:



Bila dihitung dengan urutan berbeda:



Penumpukan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh bunyi dalam frekuensi yang sama persis (dengan tingkat kekerasan yang juga sama) dapat dihitung secara sederhana dengan persamaan:

$$TB_{\text{tumpukan}} = TB_{\text{tunggal}} + 10 \log n \quad (6)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} TB_{\text{tumpukan}} &= \text{tingkat kebisingan tumpukan} \\ TB_{\text{tunggal}} &= \text{tingkat kebisingan tunggal} \\ n &= \text{jumlah sumber bunyi} \end{aligned}$$

Sebagai contoh, sepuluh buah terompet yang sama dibunyikan bersama-sama. Bila sebuah terompet menghasilkan kebisingan 70 dB, maka tumpukan kebisingan dari 10 terompet tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TB_{\text{tumpukan}} &= 70 \text{ dB} + 10 \log 10 \\ &= 80 \text{ dB} \end{aligned}$$

Cara penghitungan logaritmik di atas menunjukkan bahwa tumpukan kebisingan dikalkulasi dengan cara yang berbeda dengan yang dibayangkan kebanyakan orang. Kalau sebuah terompet menghasilkan bunyi 70 dB, maka umumnya orang membayangkan bahwa tingkat kebisingan tumpukan 10 terompet akan menjadi 10 kali lebih keras dari kebisingan tunggalnya. Ternyata setelah dihitung, kebisingannya hanya lebih tinggi 10 dB daripada bunyi tunggal-nya yang artinya cuma dua kali lebih keras (lihat Tabel 1.3).

2.6. Pengukuran Tingkat Kebisingan dengan Angka Penunjuk

Pengukuran memakai angka penunjuk (*indeks*) dengan *Sound Level Meter* (SLM) yang dipasang pada posisi angka penunjuk dapat memudahkan pengguna dalam memahami pola kebisingan pada area tersebut. Meskipun SLM dipasang cukup lama untuk terus mencatat tingkat kebisingan yang muncul secara fluktuatif, bila dipasang dengan sistem angka penunjuk, maka hanya akan memunculkan hasil angka tunggal pada SLM pada akhir pengukuran. Tanpa sistem angka penunjuk, pada pengukuran selama 18 jam misalnya, akan muncul beribu-ribu angka. Data ini tentu menyulitkan orang awam untuk memahaminya, sehingga pemakaian angka penunjuk lebih disukai. Di negara maju, bakuan yang ditetapkan umumnya menggunakan sistem angka penunjuk dari hasil pengukuran selama beberapa saat, bukan sesaat.

Sistem angka penunjuk dilambangkan dengan L_x , di mana L menunjukkan tingkat kebisingan yang tercatat dan x menunjukkan karakteristik pengukuran. Sebelum kita mempelajari lebih jauh pengukuran dengan sistem angka penunjuk ini, perlu kiranya kita pahami beberapa istilah berikut:

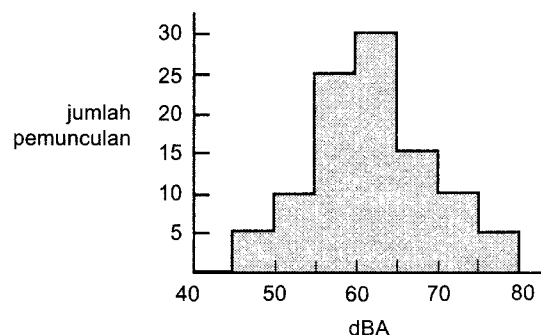
1. *Kebisingan ambien*: total kebisingan yang terjadi pada suatu area, yakni hasil kompilasi kebisingan yang sumbernya dekat maupun jauh.
2. *Kebisingan latar belakang* (bisa disebut juga *nois latar belakang*): tingkat kebisingan pada suatu area, tanpa adanya sumber *nois* yang muncul secara menonjol. Kebisingan latar belakang yang dapat diterima tanpa menimbulkan gangguan berarti umumnya berada pada tingkat maksimum 40 dB.
3. *Kebisingan tetap*: tingkat kebisingan berfluktuasi 6 dB dalam kondisi SLM yang dipasang *slow response*. Rata-rata pengukurannya dapat terbaca pada SLM yang dipasang pada posisi *slow response* setelah pengukuran selama 10 detik.

Pengukuran dengan sistem angka penunjuk yang paling banyak digunakan adalah angka penunjuk ekuivalen (*equivalent index* (L_{eq})). Angka penunjuk ekuivalen adalah tingkat kebisingan yang berubah-ubah (fluktuatif) yang diukur selama waktu tertentu, yang besarnya setara dengan tingkat kebisingan tunak (*steady*) yang diukur pada selang waktu yang sama. Apabila rentang waktu pengukuran

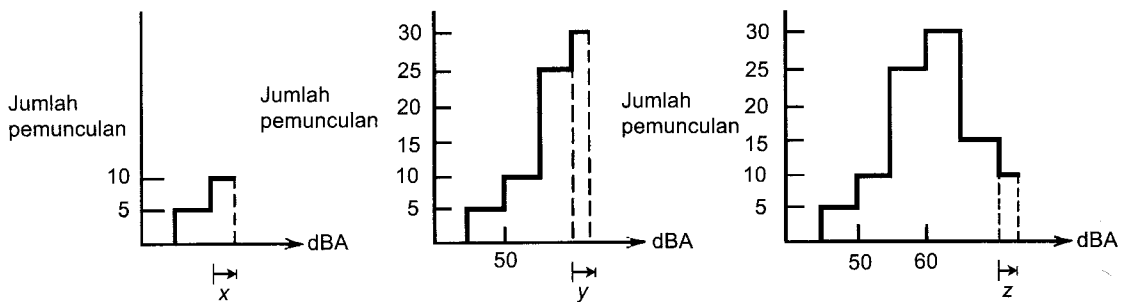
diperpendek, maka angka penunjuk ekuivalen yang diperoleh lebih tinggi daripada saat pengukuran dilakukan dalam rentang waktu yang lebih panjang. Sebagai contoh, digunakan tiga SLM untuk mengukur kebisingan dalam rentang waktu berbeda. SLM pertama digunakan untuk pengukuran selama 8 jam dan pada akhir pengukuran terbaca 90 dB, SLM kedua untuk pengukuran selama 4 jam dan ia menunjukkan angka akhir 93 dB, SLM ketiga untuk pengukuran selama 1 jam dan ia menunjukkan angka akhir 99 dB. Meskipun menunjukkan hasil yang berbeda, sesungguhnya total energi sumber bunyi dari ketiga pengukuran tersebut sama. Perbedaan angka akhir yang ditunjukkan pada ketiga pengukuran tersebut terjadi hanya karena perbedaan lama waktu pengukuran, sementara pola kebisingan pada lokasi tersebut sebenarnya sama. Pada pengukuran tingkat kebisingan selama 18 jam dengan SLM terpasang pada angka penunjuk kebisingan ekuivalen, maka angka akhir yang terbaca setelah 18 jam dituliskan sebagai $L_{eq,18}$.

Sistem angka penunjuk lain yang banyak dipakai adalah angka penunjuk persentase (*percentile index*). Sistem pengukuran ini menghasilkan angka tunggal yang menunjukkan persentase tertentu dari tingkat kebisingan yang muncul selama waktu tersebut. Angka penunjuk ini menjadi penting karena selama periode pengukuran tertentu, tingkat kebisingannya fluktuatif, sehingga penting kiranya kita mengetahui berapa dB tingkat kebisingan mayoritas, minoritas atau titik tengahnya. Persentase yang mewakili tingkat kebisingan minoritas adalah kebisingan yang muncul 10% dari keseluruhan data (L_{10}) dan tingkat kebisingan mayoritas yang muncul adalah 90% dari data selama pengukuran (L_{90}). Persentase tengah (L_{50}) umumnya identik dengan kebisingan rata-rata selama periode pengukuran. L_{90} disebut kebisingan buangan atau sisa dan L_{10} adalah tingkat kebisingan yang umumnya menimbulkan gangguan. Khusus untuk tingkat kebisingan di jalan raya, L_{90} akan menunjukkan kebisingan latar belakang dan L_{10} menunjukkan perkiraan tingkat kebisingan maksimum. Oleh karena itu, dalam setiap usaha penanggulangan kebisingan pada suatu area, L_{10} adalah sistem pengukuran angka penunjuk yang harus benar-benar diperhatikan. L_{10} dan L_{eq} dijadikan acuan untuk dibandingkan dengan bakuan yang berlaku, sementara L_{90} dapat diabaikan karena umumnya tidak selisih jauh dengan bakuan.

Pengukuran dengan sistem angka penunjuk dapat dengan mudah dilakukan menggunakan SLM yang dilengkapi dengan sistem angka penunjuk. Namun demikian, saat ini masih dijumpai pula SLM sangat sederhana yang tidak memiliki sistem angka penunjuk, sehingga data yang dihasilkan terpaksa harus dicatat satu-per-satu untuk selanjutnya dilakukan penghitungan angka penunjuk persentasenya secara manual. Sebagai contoh: Akan dilakukan pengukuran pada suatu lokasi selama satu jam. Direncanakan kebisingan yang muncul akan dicatat setiap detik secara manual. Maka selama masa pengukuran tersebut akan diperoleh 3600 angka tingkat kebisingan. Selanjutnya jumlah angka yang muncul diurutkan menurut kecil-besarnya nilai. Dengan menggunakan metode statistik biasa, dapat dihitung tingkat kebisingan yang muncul sebanyak 10%, 50% atau 90%. Contoh penghitungan angka penunjuk persentase manual dilakukan dengan histogram pada Gambar 2.3. dengan mengambil contoh bahwa selama pengukuran diperoleh data sejumlah 500 buah. Setelah diurutkan dan dihitung jumlah masing-masing tingkat kebisingan yang muncul, maka terbentuklah batang-batang histogram seperti pada Gambar 2.3. Bila diteliti kembali, maka keseluruhan luas area di bawah histogram adalah:



Gambar 2.3. Contoh histogram untuk pengukuran kebisingan dengan SLM



Gambar 2.4. Contoh potongan histogram untuk pengukuran L_{90} , L_{50} , dan L_{10} .

Pada Gambar 2.3 luas area dalam histogram = $5(5+10+25+30+15+10+5) = 500$

Untuk menghitung L_{90} , buatlah persamaan luas area sebesar 10% (merupakan sisa dari 90% yang telah diambil) dari keseluruhan luas area histogram dimulai dari sebelah kiri (dari tingkat kebisingan yang rendah), sebagai berikut:

$$5(5) + 10x = 0,1 (500)$$

$$x = 2,5$$

Sehingga

$$L_{90} = 50 \text{ dBA} + 2,5 \text{ dBA} = 52,5 \text{ dBA}$$

Untuk menghitung L_{50} , buatlah persamaan luas area sebesar 50% (merupakan sisa dari 50% yang telah diambil) dari keseluruhan luas area histogram dimulai dari sebelah kiri (dari tingkat kebisingan yang rendah), sebagai berikut:

$$5(5+10+25) + 30y = 0,5 (500)$$

$$y = 1,67$$

Sehingga

$$L_{50} = 60 \text{ dBA} + 1,67 \text{ dBA} = 61,7 \text{ dBA}$$

Demikian halnya untuk menghitung L_{10} , buatlah persamaan luas area sebesar 90% (yang merupakan sisa dari 10% yang telah diambil) dari keseluruhan luas area histogram yang dimulai dari sebelah kiri (dari tingkat kebisingan yang rendah), sebagai berikut:

$$5(5+10+25+30+15) + 10z = 0,9 (500)$$

$$z = 2,5$$

Sehingga

$$L_{10} = 70 \text{ dBA} + 2,5 \text{ dBA} = 72,5 \text{ dBA}$$

Dengan menggunakan SLM sederhana yang menyebabkan pemakai harus menghitung secara manual angka penunjuk persentasenya, tentu tidak mudah untuk menghitung angka penunjuk ekuivalennya. Namun demikian untuk kebisingan dari kendaraan bermotor (jalan raya), angka penunjuk ekuivalennya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Chunif, 1977):

$$L_{eq} = L_{50} + 0,43 (L_1 - L_{50})$$

Dengan:

L_{eq} = tingkat kebisingan ekuivalen

L_{50} = angka penunjuk kebisingan 50%

L_1 = angka penunjuk kebisingan 1 %

Dengan demikian, untuk menentukan L_{eq} kita perlu melakukan penghitungan L_1 . Melanjutkan contoh di atas, L_1 dihitung sebagai berikut:

$$5(5+10+25+30+15+10)+5q = 0,99(500)$$

$$q = 4$$

Sehingga,

$$L_1 = 75 \text{ dBA} + 4 \text{ dBA} = 79 \text{ dBA}$$

Oleh karenanya,

$$L_{eq} = 61,7 \text{ dBA} + 0,43 (79 \text{ dBA} - 61,7 \text{ dBA})$$

$$L_{eq} = 69,139 \text{ dBA}$$

2.7. Sumber Kebisingan Potensial

Kebisingan yang terjadi di sekitar kita dapat berasal dari berbagai sumber. Sumber ini dibedakan menjadi sumber yang diam dan sumber yang bergerak. Contoh dari sumber yang diam adalah industri/pabrik dan mesin-mesin konstruksi. Sedangkan contoh dari sumber yang bergerak misalnya kendaraan bermotor, kereta api, dan pesawat terbang.

Kebisingan industri/pabrik

Industri modern yang telah menggunakan peralatan-peralatan bermesin merupakan sumber kebisingan diam yang sangat potensial. Kebisingan yang dihasilkan oleh mesin-mesin di dalam pabrik juga dapat merambat ke luar bangunan pabrik, sehingga selain dirasakan secara langsung oleh pekerja pabrik, kebisingan itu juga dirasakan oleh masyarakat yang tinggal di sekitar pabrik. Mesin-mesin pabrik umumnya menghasilkan bunyi berfrekuensi rendah, sehingga selain menghasilkan bunyi bising, mesin-mesin tersebut juga menghasilkan getaran. Oleh karena itu, idealnya bangunan pabrik dirancang sebagai bangunan yang mampu meredam getaran agar tidak merambat ke luar, sehingga bangunan di sekitar pabrik cukup didesain untuk menahan kebisingannya saja. Sementara itu, para pekerja pabrik yang selalu berdekatan dengan mesin-mesin berbunyi keras, sebaiknya menggunakan *ear protection* saat bekerja.

Kebisingan kereta api

Kebisingan dari kereta api juga memiliki wujud ganda berupa bunyi dan getaran akibat adanya gesekan roda kereta api dari bahan keras dengan rel kereta api yang juga terbuat dari bahan keras. Kebisingan yang muncul datang dari mesin kereta api, klakson, dan gesekan antara roda dan rel yang seringkali menghasilkan bunyi berdecit. Kebisingan dari kereta api dirasakan oleh mereka yang berada dalam stasiun kereta api dan bangunan yang dibangun di sekitar jalur kereta api. Oleh karena itu, idealnya, bangunan di sepanjang jalur kereta api didesain dengan akustik yang baik untuk mengurangi masuknya kebisingan dan didesain dengan redaman yang baik untuk mengurangi masuknya getaran ke dalam bangunan.

Kebisingan pesawat terbang

Bunyi-bunyi yang muncul pada pesawat terbang memiliki bobot yang berbeda dengan bunyi mesin-mesin lain yaitu pada bobot D, sebagaimana diuraikan dalam Bab 1. Kebisingan yang terjadi dari pesawat terbang umumnya diderita oleh bangunan yang berlokasi dekat dengan pelabuhan udara dan beberapa ratus meter dari pelabuhan udara tersebut (ketika pesawat tinggal landas dan mendarat, serta saat pesawat terbang pada ketinggian yang rendah). Ketika pesawat telah mencapai posisinya pada ketinggian tertentu, maka kebisingan yang dihasilkan sepanjang jalur perjalanannya tidak akan mengganggu bangunan di bawahnya karena jaraknya sangat jauh. Redaman kebisingan melalui dinding dan atap bangunan yang dibuat sedemikian rupa dapat mengurangi kebisingan pesawat saat tinggal landas, mendarat, dan terbang rendah.

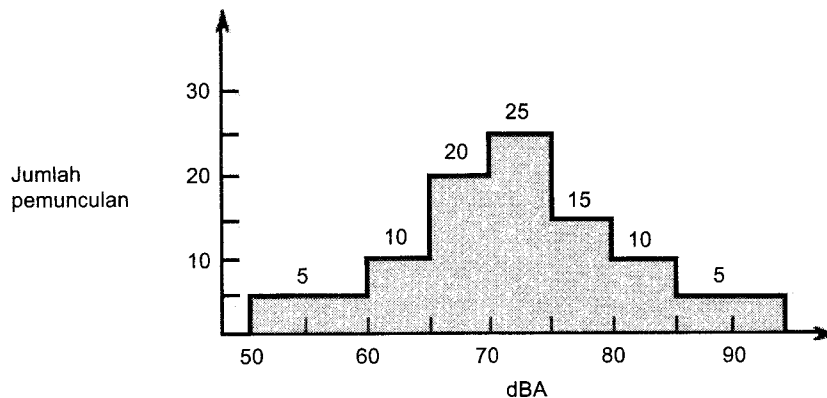
Kebisingan jalan raya

Kebisingan jalan raya disebabkan oleh pemakaian kendaraan bermotor, baik yang beroda dua, yang beroda empat, maupun yang beroda lebih dari empat. Dengan begitu banyaknya sumber kebisingan di atas permukaan jalan, maka jalan rayapun ditetapkan sebagai sumber kebisingan utama dewasa

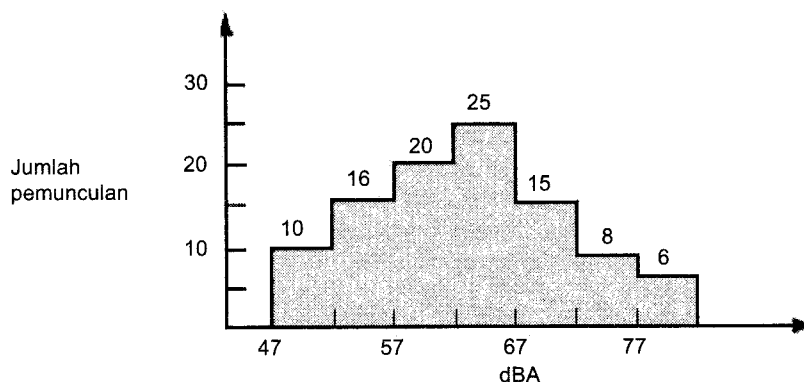
ini. Setiap jenis kendaraan bermotor memiliki frekuensi tertentu. Menurut White dan Walker (1982) kendaraan bermotor umumnya memiliki tingkat kebisingan maksimum pada frekuensi antara 100 Hz sampai 7000 Hz. Sumber kebisingan kendaraan bermotor berasal dari mesin, transmisi rem, klakson, knalpot, dan gesekan ban dengan jalan (White dan Walker 1982). Karena gesekan yang terjadi antara ban dengan jalan adalah gesekan antara benda lunak dan keras, dan berat kendaraan pada umumnya jauh di bawah berat kereta api dan pesawat terbang, maka kebisingan dari jalan umumnya berupa bunyi dan hanya sedikit yang berupa bunyi dan getaran. Oleh karena itu, idealnya, bangunan di tepi jalan cukup didesain untuk meredam masuknya bunyi ke dalam bangunan.

Soal Latihan

1. Lima buah generator dinyalakan bersama-sama. Masing-masing generator memiliki tingkat intensitas 78 dB. Hitunglah tingkat intensitas total saat kelima menyala bersama!
2. Sepuluh orang membunyikan sepuluh genderang secara serentak. Bila masing-masing genderang itu menghasilkan tingkat intensitas bunyi yang sama dan kesepuluh genderang itu menghasilkan tingkat intensitas total sebesar 79 dB, berapa dB-kah sebenarnya bunyi yang dihasilkan oleh masing-masing genderang?
3. Ada 6 sumber bunyi yang masing-masingnya mengeluarkan SPL sebesar 71 dB, 80 dB, 75 dB, 76 dB, 90 dB, dan 81 dB. Hitunglah bunyi total dari keenam sumber bunyi tersebut bila semuanya dibunyikan bersama-sama.
4. Hitunglah L_{eq} dari gambar berikut:



5. Hitunglah L_{10} , L_{50} dan L_{90} dari gambar berikut:



Selanjutnya hitung pula L_{eq} dari gambar tersebut.

Bab 3

KEBISINGAN JALAN RAYA

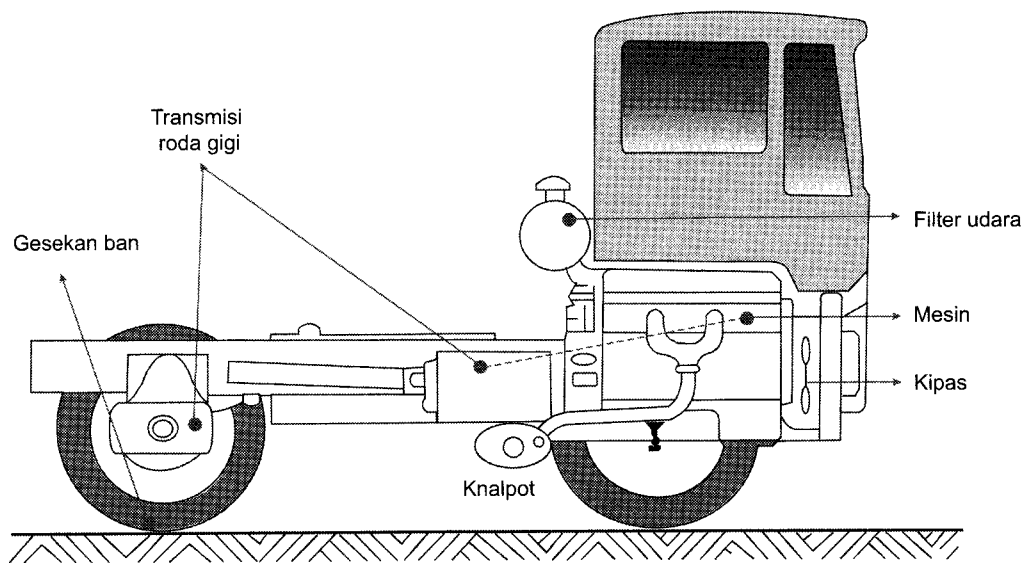
Kebisingan yang terjadi di jalan raya mendapatkan porsi khusus untuk dibahas secara tersendiri. Hal ini disebabkan karena dalam kenyataan dewasa ini, kebisingan yang mengganggu kehidupan kita sehari-hari terutama berasal dari jalan raya. Manusia, baik yang beraktivitas di luar maupun di dalam bangunan pada area yang berdekatan dengan jalan raya, sangat potensial menjadi korban kebisingan. Di mana ada bangunan yang berdiri, pasti ada akses yang dibuat menuju bangunan tersebut. Artinya, keberadaan bangunan tidak dapat dipisahkan dari keberadaan jalan. Maka, semua bangunan berpotensi menjadi korban kebisingan yang bersumber dari jalan raya.

Kebisingan dari industri, kereta api, dan pesawat terbang hanya berdampak lokal pada bangunan yang berdekatan dengan sumber. Sedangkan kebisingan yang berasal dari kendaraan bermotor memiliki dampak menyeluruh, sehingga sudah semestinya bangunan didesain sedemikian rupa agar mampu mengurangi masuknya kebisingan yang tidak dikehendaki. Desain akustik menjadi penting, tidak hanya pada bangunan yang membutuhkan penyelesaian akustik dengan cermat seperti ruang pertemuan atau studio musik, tetapi justru bangunan yang menjadi tempat manusia menghabiskan sebagian besar waktunya, seperti rumah tinggal misalnya. Perkembangan yang terjadi menunjukkan bahwa kebisingan yang dihasilkan kendaraan bermotor pada jalan-jalan di tingkat perumahanpun terus meningkat dan kian lama kian parah.

Beberapa penelitian yang dilakukan di banyak negara menunjukkan bahwa jalan raya merupakan sumber kebisingan utama. Hal ini disebabkan oleh banyaknya pemakaian kendaraan bermotor, dibandingkan jenis kendaraan yang lain. Peningkatan jumlah kendaraan ini di antaranya disebabkan oleh meningkatnya taraf ekonomi masyarakat dan semakin murah harga kendaraan bermotor. Faktor lain yang membawa dampak buruk adalah perkembangan kemutakhiran mesin kendaraan bermotor, yang dalam beberapa hal justru meningkatkan polusi, baik udara maupun bunyi. Mesin yang lebih canggih, hemat bahan bakar dan tahan lama diciptakan untuk mengganti mesin model lama. Sebagai contoh: Pemakaian mesin disel yang memenuhi kriteria ini telah banyak menggantikan mesin berbahan bakar bensin. Namun demikian efek samping yang muncul lebih banyak, sebab mesin disel menghasilkan polusi udara yang lebih pekat dan menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi. Melihat kenyataan bahwa pemakaian kendaraan bermotor dapat terus meningkat tanpa terkendali akibat penggunaan mesin-mesin kendaraan yang memiliki efek samping lebih buruk pada lingkungan, sudah selayaknya pemerintah (Indonesia) menetapkan peraturan yang lebih tegas untuk mengatasi masalah ini, sebelum terlambat.

3.1. Kebisingan dari Kendaraan Bermotor

Secara umum, kendaraan yang beroperasi di jalan raya dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori. Menurut sistem pengoperasiannya, kendaraan dibedakan menjadi kendaraan bermotor dan tidak bermotor. Kelompok kendaraan bermotor dibedakan menjadi kendaraan bermotor beroda dua, empat, dan lebih dari empat. Kendaraan beroda empat dan lebih dari empat, masih dapat dikategorikan sebagai kendaraan komersial berat, komersial ringan, angkutan umum, mobil dengan kapasitas atau cc (sentimeter kubik; volume ruang bakar dalam mesin kendaraan) kecil, kapasitas besar dan mobil mewah (White dan Walker, 1982). Klasifikasi ini sebenarnya menunjukkan bahwa masing-masing kategori kendaraan menghasilkan spektrum bunyi yang berbeda (White dan Walker, 1982). Pada kelompok kendaraan tidak bermotor, kita membedakannya menjadi yang beroda dua, seperti sepeda;



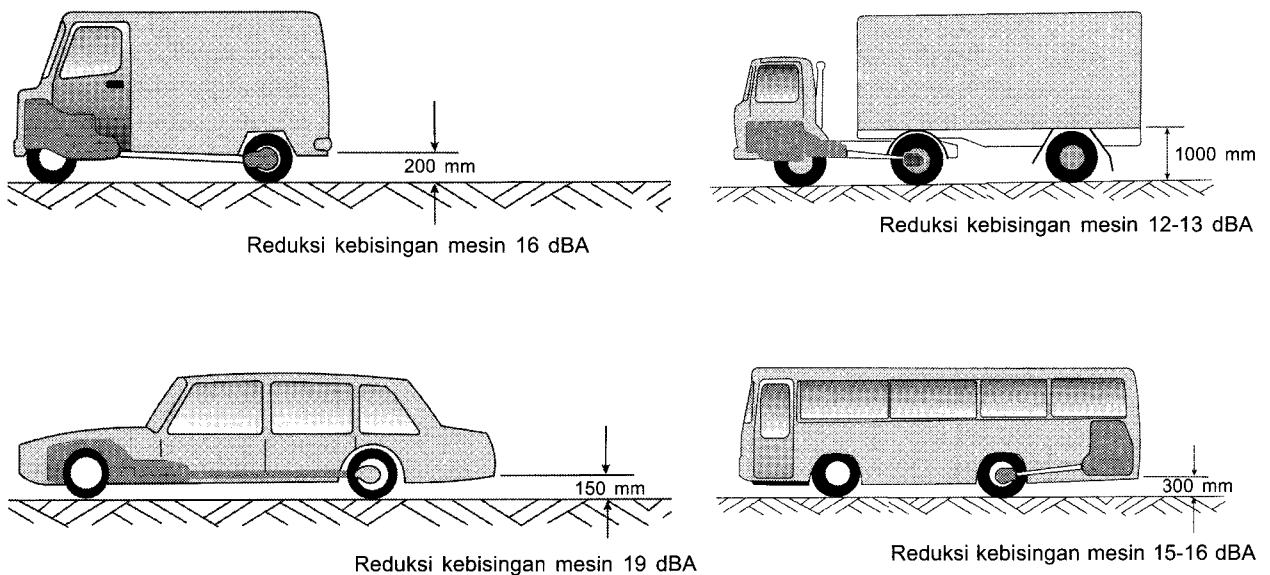
Gambar 3.1. Macam dan letak kebisingan yang ditimbulkan kendaraan bermotor roda empat atau lebih (White dan Walker, 1982)

dan yang beroda lebih dari dua, seperti becak, dokar, sado dan sejenisnya. Kendaraan tidak bermotor dapat dipastikan tidak menghasilkan kebisingan secara langsung, namun sangat mungkin bahwa, penggunaan kendaraan tidak bermotor yang cenderung berjalan lebih lambat dapat meningkatkan kebisingan secara tidak langsung. Sebagai contoh, lambatnya laju kendaraan tidak bermotor pada jalan dengan lebar terbatas akan menahan laju kendaraan bermotor. Hal ini meningkatkan kebisingan, karena kendaraan-kendaraan bermotor terkumpul pada satu titik, yaitu di belakang kendaraan tidak bermotor yang lambat tersebut.

Kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor berasal dari beberapa sumber, yaitu mesin, transmisi, rem, klakson, knalpot, dan gesekan roda dengan jalan (White dan Walker, 1982). Kebisingan akibat gesekan roda dengan jalan tergantung pada beberapa faktor: jenis ban, kecepatan kendaraan, kondisi permukaan jalan, dan kemiringan jalan. Kecepatan kendaraan mempengaruhi kebisingan yang dimunculkan akibat gesekan ban kendaraan dengan permukaan jalan. Semakin cepat lajunya, semakin tinggilah tingkat kebisingan yang dihasilkan. Selanjutnya kondisi permukaan jalan, seperti jalan yang tidak halus dan basah, akan menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi akibat terjadinya gesekan yang lebih hebat antara ban dengan permukaan jalan.

Pada sisi lain, kemiringan jalan juga mempengaruhi kebisingan. Pada jalan menanjak, dibutuhkan torsi (momen puntir) yang lebih besar dibandingkan saat jalan rata, agar kendaraan dapat bergerak. Untuk menghasilkan torsi yang lebih besar dibutuhkan posisi mesin kendaraan pada gigi atau persneling rendah dengan putaran mesin (*rotation per minute/rpm*) yang tinggi, sehingga dihasilkan kebisingan yang lebih tinggi. Demikian pula saat kendaraan menuruni jalan, gigi rendah digunakan untuk membantu pengereman (*engine brake*), agar kerja rem menjadi lebih efektif. Dari uraian di atas, cukup jelas bahwa bangunan yang berada di tepi jalan menurun/menanjak dan bangunan di tepi jalan yang tidak halus atau tidak rata akan menderita kebisingan yang lebih tinggi dibandingkan bila bangunan yang sama berada di tepi jalan yang mendatar dengan permukaan yang halus.

Titik kebisingan kendaraan bermotor yang berasal dari mesin kendaraan diukur pada ketinggian mesin dari permukaan jalan. Meski menurut jenis kendaraannya ketinggian mesin dari permukaan jalan dapat berbeda-beda, sebagaimana ditunjukkan melalui Gambar 3.2, namun umumnya dapat diambil asumsi bahwa ketinggian rata-ratanya adalah antara 50 cm sampai 80 cm. Untuk jenis jalan yang banyak dilalui kendaraan berat, sumber kebisingan dari mesin kendaraan dapat dipakai rata-rata 80 cm. Sedangkan untuk jalan yang lebih banyak dilalui kendaraan biasa selain kendaraan berat, sumber kebisingannya dapat ditentukan secara rata-rata pada ketinggian 50 cm.



Gambar 3.2. Ketinggian beberapa jenis mesin kendaraan terhadap jalan (White dan Walker, 1982)

3.2. Jenis Kendaraan Bermotor

Jenis kendaraan bermotor dapat dibedakan menurut beberapa klasifikasi. Menurut bahan bakar yang digunakannya, kendaraan bermotor dibedakan menjadi kendaraan berbahan bakar bensin, solar, gas, atau cahaya matahari. Dua jenis bahan bakar yang disebutkan terakhir masih belum dipergunakan secara luas. Bahan bakar bensin masih dibedakan menjadi bensin tanpa timbel (Pb) dan yang masih menggunakan timbel. Kebisingan yang dihadirkan oleh kendaraan bermesin bensin, baik yang dengan atau tanpa timbel umumnya lebih rendah dibandingkan oleh kendaraan berbahan bakar solar. Mesin dengan bahan bakar solar menghasilkan kebisingan yang lebih tinggi karena proses pembakarannya terjadi pada tekanan dan suhu bahan bakar yang tinggi, yang akan menghasilkan bunyi ledakan di ruang bakar yang lebih keras dibandingkan mesin bensin. Kendaraan dengan mesin berkapasitas besar (> 5000 cc) biasanya memakai mesin berbahan bakar solar karena lebih aman dan tahan untuk pemakaian lama, misalnya untuk industri/kapal/truk.

Jenis kendaraan juga bisa dibedakan menurut jumlah roda, yang biasanya berhubungan dengan kapasitas mesin kendaraan (diukur dalam cc). Kendaraan roda dua (disebut juga sepeda motor) menghasilkan jenis kebisingan yang lebih kecil dibandingkan dengan kendaraan roda empat atau kendaraan beroda lebih dari empat. Kendaraan roda dua memiliki kapasitas mesin yang lebih kecil, meningkat pada kendaraan roda empat, dan semakin besar kendaraan (jumlah roda semakin banyak) umumnya makin besar juga kapasitas mesinnya juga makin besar. Kendaraan-kendaraan dengan kapasitas mesin yang besar menghasilkan kebisingan pada frekuensi yang rendah (dan menghasilkan getaran lebih besar). Sementara itu, untuk sepeda motor, di Indonesia juga dikenal jenis sepeda motor dua langkah dan empat langkah (Inggris: *strokes*; Indonesia sehari-hari: *tak*). Langkah yang dimaksud adalah jumlah proses pembakaran. Pada sepeda motor dengan mesin empat langkah, langkah-langkahnya terdiri dari:

1. Langkah hisap (menghisap bahan bakar + udara)
2. Langkah tekan (kompresi)
3. Langkah kerja (ekspansi)
4. Langkah buang (membuang sisa pembakaran)

Tenaga motor dihasilkan oleh putaran poros engkol (dihasilkan lewat langkah kerja atau langkah ketiga). Setiap langkah membutuhkan 1/2 putaran poros engkol, jadi untuk satu siklus kerja diperlukan 2 putaran poros engkol (*crank shaft*). Sementara itu pada sepeda motor dengan mesin dua langkah, satu siklus kerja terdiri dari:

1. Langkah hisap + langkah kompresi
2. Langkah kerja + langkah buang

Pada mesin dua langkah, hanya dibutuhkan satu putaran poros engkol untuk menghasilkan satu siklus kerja. Mesin dua langkah menghasilkan kebisingan lebih tinggi karena proses pembakarannya kurang sempurna (ada bahan bakar yang belum terbakar ikut terbuang atau sisa pembakaran masih berada dalam ruang bakar) dan proses pembakaran tidak tertutup rapat seperti pada mesin empat langkah, sehingga bunyi di saluran gas buang (knalpot) terdengar lebih keras.

Menurut fungsinya, kendaraan bermotor juga dapat dibedakan menjadi kendaraan umum/niaga dan kendaraan pribadi. Kendaraan niaga masih dibedakan lagi menjadi angkutan penumpang dan angkutan barang. Baik kendaraan angkutan penumpang dan barang masih dapat dibedakan menjadi kendaraan angkutan kapasitas kecil dan angkutan kapasitas besar. Kendaraan umum/niaga kapasitas besar biasanya merupakan kendaraan dengan kapasitas mesin besar. Kendaraan semacam ini memiliki frekuensi kebisingan yang rendah, disertai dengan getaran. Sementara itu, kendaraan pribadi sebenarnya dapat dibedakan lagi menjadi kendaraan pribadi biasa dan kendaraan mewah. Kendaraan mewah umumnya mengeluarkan bunyi mesin yang sangat halus. Namun demikian, secara rata-rata di Indonesia jumlah kendaraan semacam ini sangatlah kecil bila dibandingkan kendaraan pribadi biasa, sehingga dapat diabaikan.

Rasio pemakaian kendaraan bermotor pribadi dibandingkan kendaraan umum dan komersial angkutan barang, serta rasio pemakaian kendaraan bermotor roda dua dibandingkan kendaraan roda empat telah membuat karakteristik kebisingan jalan raya di Indonesia sangat berbeda dengan di negara maju. Sebab sebagaimana telah diuraikan, masing-masing jenis mesin kendaraan bermotor memiliki kecenderungan menghasilkan frekuensi kebisingan yang khusus. Jika rasio jumlah kendaraan bermotor dari semua jenis yang digunakan cukup sebanding, maka secara rata-rata tingkat kebisingan yang dihasilkan berada pada karakteristik yang hampir sama. Namun apabila ada satu atau dua jenis kendaraan bermotor tertentu yang jumlah pemakaiannya sangat dominan, maka karakteristik kebisingannya pun akan sangat berbeda.

3.3. Faktor Penentu Tingkat Kebisingan Kendaraan Bermotor

Karakteristik kebisingan suatu jalan berbeda dengan karakteristik kebisingan di jalan yang lain. Perbedaan ini terjadi karena tingkat kebisingan di jalan raya ditentukan oleh banyak faktor. Faktor yang pertama adalah kendaraan bermotor yang melewatinya, yang meliputi: jumlah kendaraan total per jam, rasio dari jenis-jenis kendaraan bermotor yang melewatinya (sebagaimana dibahas pada subbab 3.2.), dan kecepatan rata-rata kendaraan. Faktor kedua adalah karakteristik jalan, yaitu kelas jalan (yang umumnya meliputi lebar dan panjang jalan, jumlah jalur (kapasitas), serta kualitas permukaan jalan), kemiringan jalan, penataan arus lalu lintas jalan dimaksud (misalnya jalan searah dengan atau tanpa jalur lambat, jalan dua arah dengan atau tanpa jalur lambat, berdekatan dengan *zebra-cross*, berdekatan *traffic-light*, dan sebagainya.) Faktor ketiga adalah kondisi-kondisi lain di sekitar jalan, seperti bangunan di sisi jalan dan kesibukan informal di sepanjang tepi jalan, misalnya perdagangan kaki lima, tempat parkir, dan sebagainya.

Kesemua faktor tersebut sangat berpengaruh dalam menentukan tingkat kebisingan yang terjadi pada suatu jalan. Oleh karenanya, tingkat kebisingan suatu jalan tidak pernah sama persis dengan jalan yang lain. Sebagai contoh, meskipun volume/jumlah kendaraan dan rasio jenis kendaraan yang lewat tiap jam-nya sama, namun bila karakteristik jalannya berbeda, sangat dimungkinkan tingkat kebisingannya pun jauh berbeda.

3.4. Pembagian Kelas Jalan

Pemerintah Indonesia telah menetapkan beberapa peraturan mengenai pembagian kelas jalan yang secara tidak langsung dapat dijadikan acuan untuk membatasi tingkat kebisingan pada suatu kelas jalan tertentu. Sesungguhnya pembagian kelas jalan sangat beragam, namun yang cukup berkaitan dengan tingkat kebisingan adalah pengklasifikasian menurut fungsi, beban dan dimensi kendaraan, serta menurut tipe jalan (Tabel 3.1 s.d. 3.3). Setiap kelas jalan memiliki spesifikasi jenis kendaraan yang bisa melewatinya. Apabila persyaratan ini dipenuhi, maka tingkat kebisingan pada ruas jalan tersebut setidaknya dapat diprediksikan mendekati atau sedikit di atas baku bagi ruas jalan tersebut. Namun bila kendaraan yang melintas melebihi spesifikasi yang telah ditetapkan, dapat dipastikan bahwa tingkat kebisingan di jalan tersebut lebih tinggi dari baku yang telah ditetapkan. Sebagai contoh, karena keadaan tertentu sebuah jalan kolektor terpaksa berfungsi sebagai jalan arteri, maka dapat dipastikan kebisingan yang diderita bangunan di sepanjang jalan tersebut meningkat secara signifikan. Bangunan yang berlokasi di tepi jalan yang lebih tinggi kelasnya, akan menderita kebisingan yang lebih tinggi tingkatnya bila dibandingkan jika bangunan itu berlokasi di tepi jalan dengan kelas yang lebih rendah.

Secara terinci faktor-faktor penentu kebisingan di jalan diuraikan sebagai berikut:

1. Jumlah atau volume kendaraan yang semakin banyak dalam satu ruas jalan akan mengakibatkan tingkat kebisingan yang lebih tinggi dan sebaliknya.
2. Semakin tinggi rasio kendaraan berkapasitas besar dibandingkan kendaraan berkapasitas kecil pada satu ruas jalan, semakin tinggilah kebisingan yang dihasilkannya, terutama apabila kendaraan berkapasitas besar tersebut digunakan sebagai kendaraan umum/niaga.
3. Semakin tinggi rasio kendaraan roda dua bermesin dua langkah dibandingkan dengan kendaraan roda dua bermesin empat langkah pada suatu ruas jalan, semakin tinggilah tingkat kebisingan yang dihasilkan.
4. Semakin cepat laju kendaraan, semakin tinggilah tingkat kebisingan pada kendaraan tersebut (berbeda dengan efek polusi udara, semakin lambat kendaraan, semakin tinggilah emisi gas buang yang dihasilkannya karena terakumulasi pada satu titik).
5. Selain ditentukan oleh karakteristik kendaraan, laju kendaraan juga sangat tergantung pada karakteristik jalan. Kendaraan yang melaju cepat akan menghasilkan kebisingan yang lebih tinggi, namun perbedaan ini tidak signifikan bila dibandingkan saat kendaraan berjalan lambat. Keadaan dilematis terjadi karena dengan semakin lebar dan semakin panjangnya suatu jalan, serta semakin baiknya pengaturan jalur jalan dan kualitas jalan, kendaraan akan cenderung melaju semakin cepat. Sementara pada kondisi lain, jalan yang pendek dan sempit, dengan penataan jalur yang kurang baik serta kondisi permukaan yang buruk, kendaraan akan berjalan lambat. Pada keadaan kendaraan yang berjalan lambat, apabila jumlah kendaraannya cukup banyak, tingkat kebisingan yang dihasilkannya juga cukup tinggi. Keadaan ini juga menghasilkan polusi udara yang lebih besar. Dari uraian singkat tersebut dapat disimpulkan bahwa jalan, baik yang berkualitas baik maupun yang buruk, akan menghasilkan tingkat kebisingan yang hampir

Tabel 3.1. *Kelas jalan di Indonesia menurut fungsi*
(menurut UU no.13/1980 dan PP no. 26/1985)

No.	Kelas jalan	Spesifikasi
1.	Jalan Arteri	Melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan tinggi, dan jalan masuk dibatasi secara efisien.
2.	Jalan Kolektor	Melayani angkutan pengumpul dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rendah, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3.	Jalan Lokal	Melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan dekat, kecepatan rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Tabel 3.2. *Kelas jalan menurut PP no. 43/1993*

No.	Kelas Jalan	Spesifikasi Jalan dan Kendaraan
1.	I	Jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimum 2,5 m, panjang maksimum 18 m dan muatannya dengan sumbu terberat > 10 ton.
2.	II	Jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimum 2,5 m, panjang maksimum 18 m dan muatannya dengan sumbu terberat maksimum 10 ton.
3.	IIIA	Jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimum 2,5 m, panjang maksimum 18 m dan muatannya dengan sumbu terberat maksimum 8 ton.
4.	IIIB	Jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimum 2,5 m, panjang maksimum 12 m dan muatannya dengan sumbu terberat maksimum 8 ton.
5.	IIIC	Jalan lokal yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatannya dengan lebar maksimum 2,1 m, panjang maksimum 9 m dan muatannya dengan sumbu terberat maksimum 8 ton.

Tabel 3.3. *Kecepatan kendaraan menurut tipe dan kelas jalan*

(Direktorat Jenderal Bina Marga, Standar Perencanaan Geometrik Jalan Perkotaan, 1988)

Tipe Jalan	Kelas Jalan	Kecepatan (km/jam)
Tipe I	I	100 atau 80
	II	100 atau 60
Tipe II	I	60
	II	60 atau 50
	III	40 atau 30
	IV	30 atau 20

sama ketika dilalui kendaraan dalam jumlah banyak. Namun bila jalan tersebut sepi, yang akan berpengaruh adalah durasi kebisingan. Bagi suatu titik di tepi jalan pada suatu jalan yang sepi, kualitas jalan yang baik akan menghasilkan kebisingan yang sama tingginya, namun dalam durasi yang lebih pendek, sebab kendaraan berlalu dengan cepat dari titik tersebut, dibandingkan bila kendaraan terpaksa berjalan lambat-lambat akibat kualitas jalan yang buruk.

6. Kemiringan jalan berpengaruh terhadap tingkat kebisingan yang dihasilkan. Sebuah titik yang berada di tepi jalan miring (menanjak atau menurun) akan menerima kebisingan yang lebih besar bila dibandingkan jika jalan dalam keadaan datar.
7. Sebuah titik di tepi jalan, yang berdekatan dengan pengaturan lalu lintas, seperti *traffic-light*, *zebra-cross*, atau perputaran, juga akan menerima kebisingan yang lebih tinggi, karena kendaraan berhenti atau berjalan lambat pada lokasi tersebut.
8. Keadaan di sisi jalan yang berpengaruh terhadap kebisingan adalah muka bangunan yang berhadap-hadapan dan saling membentuk koridor. Keadaan ini akan memantulkan bunyi yang dihasilkan di jalan, dan mengakibatkan kebisingan menjadi lebih tinggi.
9. Pemanfaatan trotoar untuk area parkir dan perdagangan informal juga dapat menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi pada suatu titik di tepi jalan, karena kendaraan berjalan lambat dan sangat mungkin terjadi kemacetan pada ruas tersebut.

3.5. Karakteristik Kebisingan dari Kendaraan Bermotor

Dengan metode *sound weighting*, karakteristik kebisingan kendaraan bermotor masuk dalam bobot A, sehingga ketika mendata tingkat kebisingan di jalan raya menggunakan *Sound Level Meter* (SLM) maka alat tersebut di-*setting* pada bobot A. Hasil yang termuat dibaca sebagai dBA. Oleh karena kebisingan yang terjadi di jalan raya umumnya muncul dalam rentang waktu tertentu, misalnya dari pukul 06.00 sampai dengan 24.00, maka pengukuran tingkat kebisingan suatu jalan perlu dilakukan selama periode sibuk tersebut. Guna menyajikan hasil akhir yang lebih mudah dipahami dari hasil pengukuran tingkat kebisingan di jalan yang umumnya sangat fluktuatif, disarankan penggunaan model pendataan dengan metode penunjuk atau indeks ekuivalen (L_{eq}). Melalui penunjuk ekuivalen, tingkat kebisingan yang muncul terdata semua, namun penyajian akhirnya cukup terdiri satu angka yang mudah dipahami.

Untuk memperoleh data yang lebih rinci, idealnya memang dilakukan pengukuran selama 24 jam/hari yang dibedakan menjadi pengukuran kebisingan pada saat sibuk (misalnya pada jam keberangkatan sekolah/kantor), pada saat biasa, serta pada saat sepi. Namun karena keterbatasan kemampuan alat ukur maka pengambilan data dapat disederhanakan hanya dalam rentang waktu 18 jam/hari dengan asumsi bahwa enam jam sisanya adalah waktu tenang (misalnya malam hari) ketika tingkat kebisingan sangat rendah sehingga dapat diabaikan (lihat subbab 2.3). Namun untuk kondisi jalan raya yang kebisingannya terjadi secara penuh selama 24 jam/hari seperti pada jalan arteri, jalan tol, atau jalan-jalan lain dengan tingkat kesibukan tinggi, pengukuran selama 24 jam/hari seyogyanya dilakukan.

Untuk menentukan karakteristik tingkat kebisingan pada suatu jalan, selain pengukuran dalam rentang waktu jam, perlu pula kiranya penghitungan menurut rentang waktu hari yang dibedakan antara hari kerja dan hari libur. Selanjutnya secara umum perlu pula dilakukan penghitungan dalam rentang waktu minggu dan bulan.

3.6. Penunjuk Polusi Kebisingan dan Penunjuk Kebisingan Lalu-Lintas

Untuk menentukan apakah suatu kebisingan yang muncul di jalan raya telah memasuki tahap polusi kebisingan, maka kebisingan yang muncul dapat diukur dengan penunjuk atau indeks polusi kebisingan (L_{NP}). Persamaan untuk menentukan L_{NP} dikembangkan oleh Robinson (dalam Yulyanto dan Reliantoro, 1995), di mana:

$$L_{NP} = L_{eq} + 2,56\sigma \quad (7)$$

Dengan σ adalah standar deviasi (ditentukan secara statistik dari semua data yang muncul).

Oleh karena Indonesia belum memiliki acuan untuk L_{NP} , maka acuan yang disampaikan pada Tabel 3.4. adalah menurut US *Department of Housing and Urban Development* (dalam Yulyanto dan Reliantoro, 1995).

Tabel 3.4. menunjukkan bahwa batas maksimum tingkat polusi kebisingan yang masih dapat diterima seseorang adalah 74 dB. Itu berarti bahwa kebisingan yang muncul sampai 74 dB masih

Tabel 3.4. Standar L_{NP} menurut US *Department of Housing and Urban Development*

L_{NP}	Kriteria penerimaan masyarakat
< 58 dB	dapat diterima
58 dB $\leq L_{NP} \leq$ 74 dB	masih dapat diterima
74 dB < $L_{NP} \leq$ 88 dB	umumnya tidak dapat diterima
> 88 dB	sangat tidak dapat diterima

dapat ditolerir dengan normal tanpa mengganggu aktivitas yang dikerjakan orang tersebut.

Khusus untuk kebisingan yang muncul dari jalan, tingkat kebisingannya dapat ditentukan melalui indeks kebisingan lalu lintas (L_{TNI}). TNI adalah kependekan dari *Traffic Noise Index*.

$$L_{TNI} = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (8)$$

Penentuan batas penunjuk kebisingan lalu lintas yang dapat diterima masyarakat ternyata setara dengan tingkat polusi kebisingan, yaitu 74 dB.

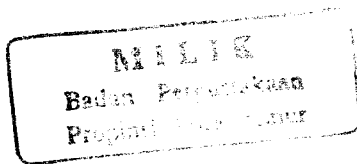
Soal Latihan

1. Mengapa jalan menjadi sumber utama kebisingan yang memasuki bangunan?
2. Sebutkan bagian-bagian dari kendaraan bermotor yang menghasilkan kebisingan!
3. Mengapa peruntukan jalan yang melampaui baku yang telah ditetapkan akan memicu timbulnya kebisingan yang melebihi baku?
4. Sebutkan keadaan-keadaan spesifik di jalan yang dapat mengakibatkan meningkatnya kebisingan!
5. Berapakah baku tertinggi tingkat polusi kebisingan yang masih dapat diterima masyarakat (menurut baku *US Department of Housing and Urban Development*)?

BAGIAN III

KEBISINGAN PADA BANGUNAN





Bab 4

KEBISINGAN PADA BANGUNAN DAN ASAS PENANGGULANGANNYA

Sebagaimana diuraikan dalam Bab 3, dewasa ini jalan raya adalah sumber utama kebisingan. Pemakaian kendaraan bermotor yang bertambah terlalu pesat tanpa diikuti dengan penambahan lebar dan panjang ruas jalan, adalah akar permasalahan kebisingan di jalan raya. Ketika kita menyadari bahwa bangunan di sepanjang tepi jalan sangat potensial menderita kebisingan, penting kiranya dipikirkan cara-cara penanggulangannya. Mungkin saja sekarang ini suatu bangunan berdiri di tepi jalan yang belum terlalu ramai. Namun seiring perkembangan jaman, dalam rentang waktu singkat jalan tersebut akan semakin ramai. Cobalah kita ingat kembali bagaimana keramaian lalu lintas di depan rumah kita (atau di jalan raya di depan gang menuju ke rumah) sekitar sepuluh tahun yang lalu

4.1. Kebisingan dari Jalan dan Bangunan

Kebisingan di jalan yang masuk ke lahan di sekitar bangunan dan ke dalam bangunannya sendiri, dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu:

1. *Sumber kebisingan*, yang meliputi: jarak sumber kebisingan dari bangunan, tingkat kebisingan sumber, frekuensi, durasi munculnya kebisingan, dan waktu munculnya kebisingan.
2. *Medium yang dilalui kebisingan* yang meliputi: kondisi udara, jarak tempuh gelombang bunyi kebisingan (berhubungan dengan jarak sumber kebisingan terhadap bangunan), dan ada tidaknya objek dalam medium (yang memungkinkan terjadinya pembelokan perambatan atau pemantulan gelombang bunyi).
3. *Bangunan sebagai penerima*, yang meliputi tingkat kerapatan elemen bangunan secara keseluruhan (berupa dinding, lantai, plafon, dan atap) serta kemungkinan ruang-ruang yang menderita kebisingan serta yang dapat dilindungi dari kebisingan.

Kebisingan oleh bangunan yang terletak di tepi jalan, terutama memang disebabkan oleh kebisingan dari jalan, namun tidak tertutup juga kemungkinan kebisingan berasal dari titik lain di sekitar bangunan. Adapun kebisingan yang diderita oleh suatu bangunan dapat berasal dari:

- Luar lahan (kapling) bangunan, misalnya dari jalan atau dari titik lain di luar lahan seperti lahan atau bangunan sebelah.
- Dalam lahan tetapi di luar bangunan, misalnya dari area parkir bangunan itu sendiri, serta peralatan bangunan seperti pompa air dan mesin generator yang diletakkan di halaman.
- Dalam bangunan sendiri, misalnya ada ruang dalam bangunan yang menimbulkan kebisingan, seperti kantin, yang dapat mengganggu ruang kelas di sebelahnya, atau peralatan bangunan seperti pompa dan mesin generator yang ditempatkan di dalam bangunan.

- Dalam ruangan sendiri, seperti misalnya di dalam kelas ketika siswa semestinya tenang sewaktu guru menerangkan materi namun siswa ternyata justru asyik berdiskusi sendiri-sendiri.

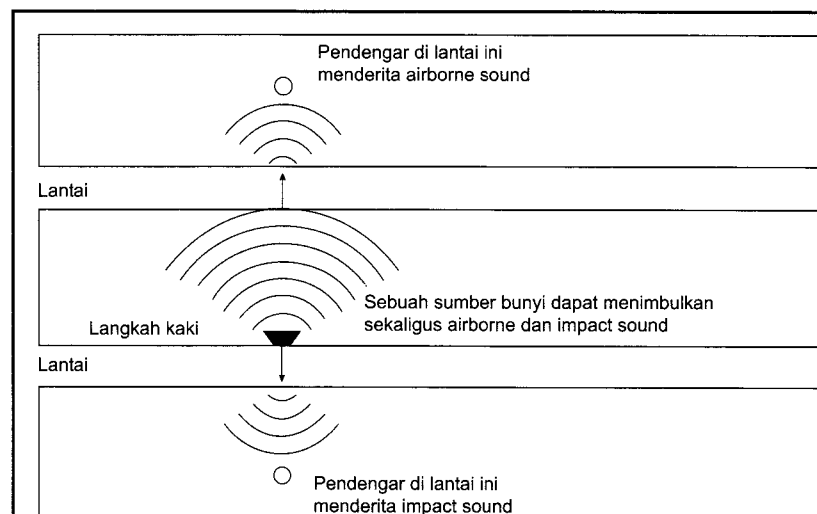
Letak sumber kebisingan yang berbeda-beda sebagaimana dijelaskan di atas membutuhkan solusi yang juga berbeda-beda agar kita dapat memperoleh kualitas akustik yang baik dalam ruangan yang menderita kebisingan pada bangunan tersebut.

4.2. Perambatan Kebisingan ke Dalam Bangunan

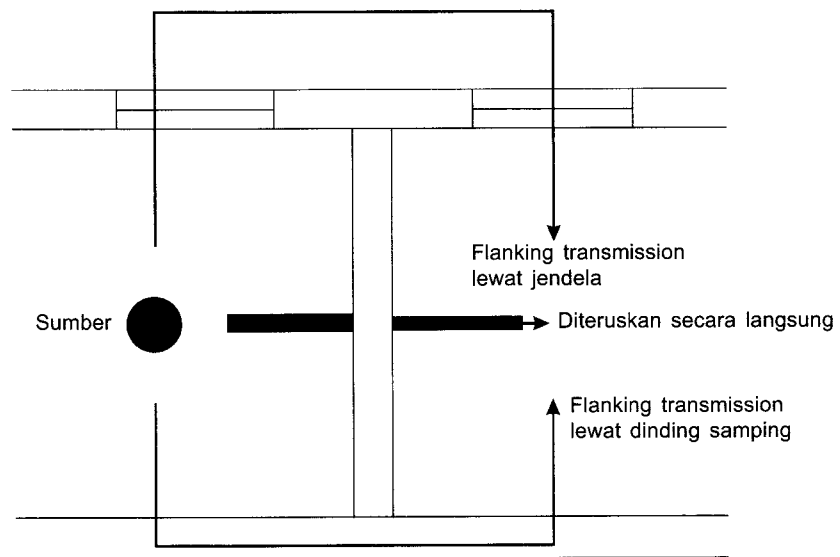
Menurut asalnya, kebisingan yang terjadi dalam bangunan dapat berasal dari berbagai titik, namun demikian kebisingan yang berasal dari dalam lahan atau dari dalam bangunan sendiri lebih dapat dikontrol ketimbang kebisingan yang berasal dari luar lahan. Kebisingan dari jalan adalah kebisingan yang berada di luar kontrol pemilik bangunan. Oleh karena itu, pentinglah kiranya kita pelajari kemungkinan perambatan atau transfer kebisingan dari luar ke dalam bangunan.

Jenis perambatan kebisingan dapat dibedakan menurut medium yang dilalui gelombang bunyi, yaitu:

1. *Airborne sound*, adalah perambatan gelombang bunyi melalui medium udara. Oleh karena ruang di sekeliling kita umumnya dilingkupi udara, demikian pula kebisingan yang muncul di jalan umumnya merambat mendekati bangunan melalui medium udara. Model perambatan semacam ini akan sangat mudah masuk ke dalam bangunan jika terdapat lubang, celah, atau retak pada elemen bangunan, terutama pada elemen vertikal seperti dinding. Perambatan juga dapat terjadi melalui elemen vertikal atas, yaitu atap atau/dan plafon. Peletakan jendela dan lubang ventilasi, atau pemakaian elemen penutup atap dari material yang tidak rapat seperti rumbia atau genteng dengan kait yang tidak presisi, juga akan merambatkan kebisingan.
2. *Structureborne sound*, adalah istilah yang secara umum dipakai untuk proses perambatan bunyi melalui benda padat. Dalam konteks ini benda padat diasosiasikan dengan elemen bangunan itu sendiri, sehingga disebut *structureborne sound*. Perambatan melalui elemen bangunan umumnya terjadi ketika sumber kebisingan menempel atau sangat berdekatan dengan elemen tersebut, misalnya menempel pada atau sangat berdekatan dengan dinding. Namun, karena umumnya tetap ada jarak yang cukup antara bangunan dengan jalan, maka perambatan melalui dinding secara langsung amat jarang terjadi. Dalam keadaan tertentu, kita bisa saja mendengar getaran



Gambar 4.1. Gambar potongan yang menunjukkan proses terjadinya airborne dan structureborne sound.



Gambar 4.2. Gambar denah yang menunjukkan proses terjadinya flanking transmission.

yang hebat pada elemen bangunan (terutama yang tipis, seperti kaca jendela) saat ada kendaraan melintas. Sesungguhnya yang terjadi adalah perambatan secara *airborne* yang kemudian berubah menjadi *structureborne sound*.

Bunyi yang merambat secara *airborne* dapat berubah menjadi *structureborne* ketika terjadi resonansi pada elemen bangunan yang disebabkan oleh dua kemungkinan, yaitu kalau elemen bangunan memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama dengan frekuensi bunyi yang merambat atau kalau sumber bunyi memiliki frekuensi amat rendah yang memiliki getaran sangat hebat (lihat subbab 1.5). Resonansi yang hebat memungkinkan perambatan berubah lagi secara *airborne*.

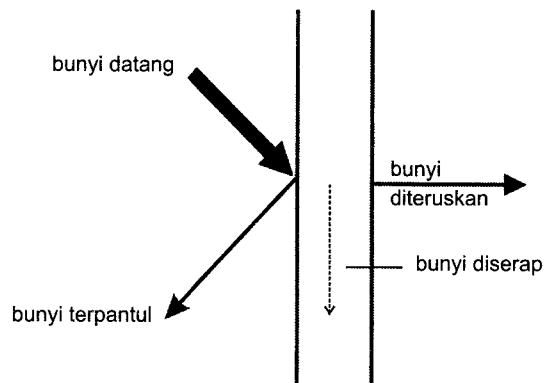
Pada keadaan tertentu, *structureborne sound* juga disebut *impact sound* ketika sumber bunyi terjadi secara langsung pada elemen bangunan (seperti pukulan pada dinding, hampasan pintu dan jendela, atau hentakan kaki pada lantai). Ketika pukulan, hampasan, atau hentakan cukup kuat mengenai elemen, perambatannya mungkin juga akan berubah secara *airborne* untuk didengar manusia tanpa perlu menempelkan telinganya pada elemen yang terkena kebisingan secara langsung tersebut.

Siasat desain akustik yang tepat dapat diterapkan ketika kita mengetahui secara pasti medium perambatan sumber bunyi, namun hal ini tidak mudah dilakukan, karena pada kenyataannya sebuah sumber bunyi dapat mengalami perubahan sistem perambatan. Oleh karena itu, secara praktis siasat desain yang mampu meredam perambatan baik secara *airborne* maupun *structureborne* lebih ideal untuk diterapkan.

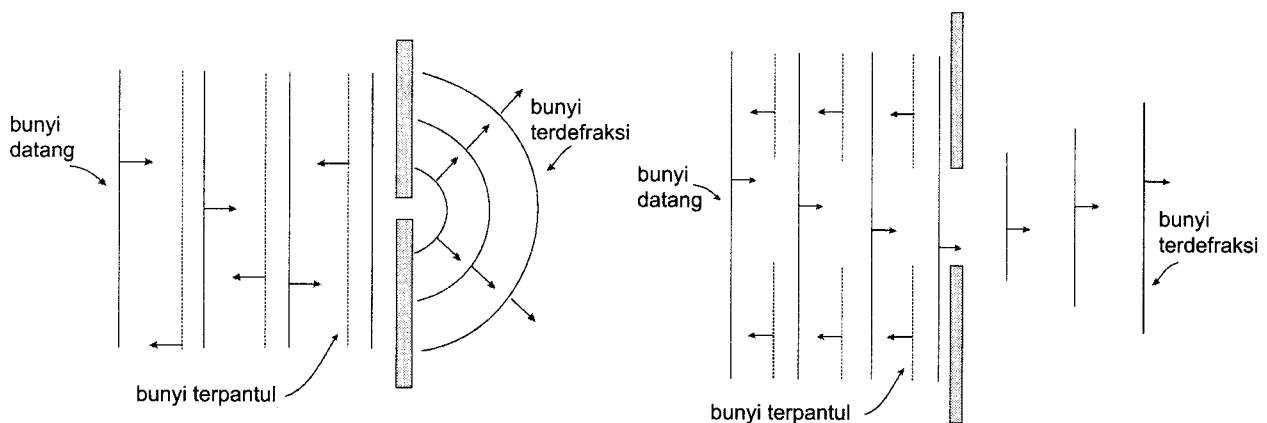
Pada perambatan bunyi secara *structureborne* dimungkinkan juga terjadinya perambatan secara *flanking transmission*, yaitu perambatan bunyi dari suatu ruang melalui celah pada dinding samping, menerus sampai ke dinding samping ruangan di sebelahnya dan akhirnya masuk ke ruangan lain (Gambar 4.2).

4.3. Perilaku Bunyi ketika Mengenai Objek

Ketika sebuah objek sumber bunyi bergetar dan tidak ada objek lain yang menghalanginya, gelombang bunyi tersebut akan merambat ke segala arah, menempuh jarak tertentu, melemah, dan kemudian menghilang. Namun demikian, dalam kehidupan sehari-hari, selalu saja akan ada objek yang kemungkinan menghalangi jalannya gelombang bunyi.



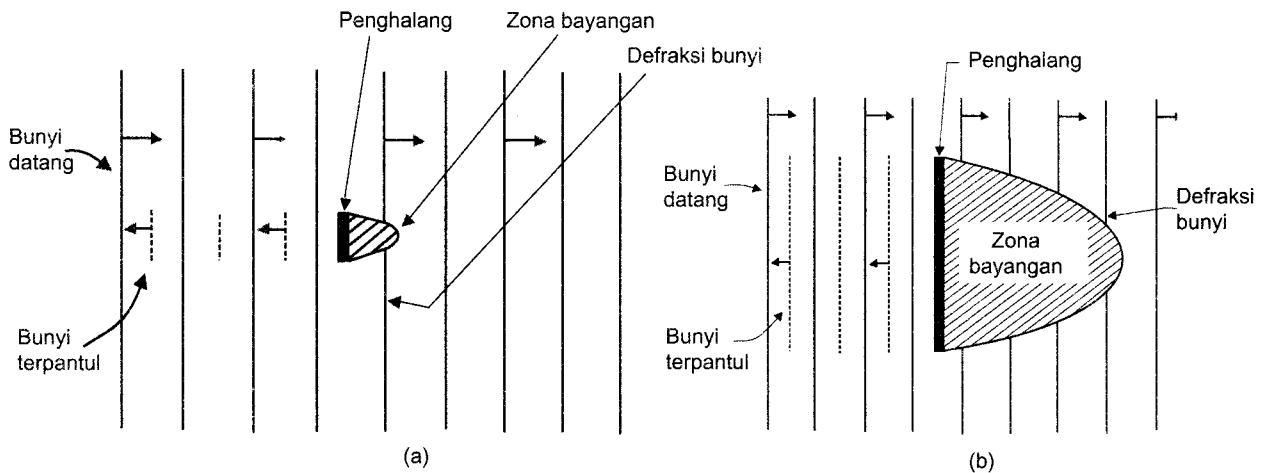
Gambar 4.3. Perambatan gelombang bunyi yang mengenai objek akan mengalami pemantulan, penyerapan, dan penerusan bunyi, yang persentasenya tergantung pada karakteristik objek



Gambar 4.4. Perambatan gelombang bunyi yang mengenai bidang batas dengan celah akan mengalami defraksi. Ketika celah amat kecil, seolah akan terjadi duplikasi sumber.

Dalam beberapa segi, gelombang bunyi memiliki sifat yang hampir sama dengan gelombang cahaya, yaitu memantul dengan posisi sudut datang sama dengan sudut pantul bila mengenai objek yang licin sempurna dan memiliki luasan yang melebihi dimensi gelombang bunyi yang datang, memantul ke arah tidak beraturan bila mengenai objek dengan permukaan tidak teratur, serta terserap dan diteruskan atau ditransmisikan saat mengenai objek yang terbuat dari material tertentu. Ketika mengenai objek yang memiliki retak atau celah, gelombang cahaya maupun bunyi akan berusaha menerobosnya. Perbedaannya: pada cahaya, masuknya sinar melalui celah, lubang, atau retak yang amat kecil akan sangat mengurangi kekuatannya atau menjadi amat lemah. Namun pada bunyi, keberadaan celah, lubang, atau retak kecil pada objek penghalang justru dapat menyebabkan terjadinya duplikasi sumber. Hal ini akan mengakibatkan bunyi yang menerobos melalui celah memiliki kekuatan yang cukup untuk bisa terdengar cukup jelas dari balik dinding retak tersebut (Gambar 4.4).

Peristiwa lain yang sangat mungkin terjadi ketika gelombang bunyi mengenai objek adalah kemungkinan terjadinya resonansi. Resonansi terjadi akibat adanya kesamaan (sama persis atau mendekati sama) frekuensi antara sumber bunyi dengan objek, sumber bunyi memiliki kekuatan yang hebat (menghasilkan getaran yang hebat), jarak antara sumber bunyi dengan objek terlalu dekat, objek terlalu tipis/ringan, atau karena objek tidak dipasang secara permanen. Selain munculnya resonansi, ketika objek yang menghalangi memiliki dimensi yang tidak terlalu besar, gelombang bunyi bisa berbelok menuju ke belakang objek.



Gambar 4.5. Perambatan gelombang bunyi yang mengenai bidang batas solid kemungkinan dapat membentuk zona bayangan di balik bidang batas yang besarnya sesuai dengan dimensi bidang batas. Keberadaan zona bayangan akan sangat bergantung pada perbandingan dimensi penghalang dengan panjang gelombang bunyi

Dari uraian di atas, dapat dipahami bahwa dalam menghalangi perambatan bunyi, pemakaian objek sebagai penghalang harus dipilih yang cukup besar, tebal, berat, rapat/tanpa cacat dan dipasang secara permanen. Hal ini dimaksudkan agar fungsi objek sebagai penghalang dapat membuahkan hasil yang maksimal.

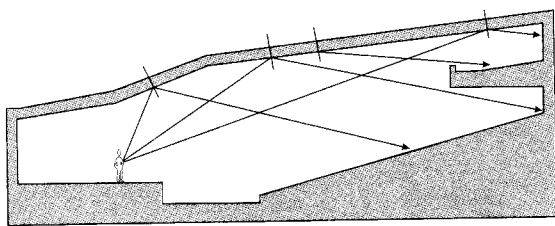
4.4. Mengatasi Kebisingan yang Merambat secara *Airborne*

Meski mengatasi kebisingan dengan jalan meniadakan sumber kebisingan adalah cara yang paling efektif, hal ini sungguh sangat tidak mudah diterapkan. Demikian pula cara melindungi korban kebisingan dengan mewajibkan penggunaan *ear protection*, umumnya tidak selalu memungkinkan. Oleh karena itu, hal yang paling mungkin untuk diterapkan adalah membatasi atau menghalangi perambatan gelombang bunyi. Saat bunyi merambat melalui medium udara, perambatannya dapat dibatasi dengan memasang objek yang mampu menghalangi perambatan tersebut. Cara kerja penghalang dapat berupa pemantulan kembali gelombang bunyi ke arah sumber atau ke arah lain selain ke balik penghalang. Kemungkinan berikutnya adalah memakai objek dari material yang mampu menyerap gelombang bunyi yang merambat. Metode yang kedua ini seringkali tidak berhasil, ketika material tersebut karena sesuatu hal justru ikut bergetar sehingga akan meneruskan bunyi ke balik penghalang. Objek penghalang yang terbuat dari material yang cukup lunak, tidak licin permukaannya, namun memiliki ketebalan dan berat yang cukup, akan mampu melakukan tugasnya dengan baik.

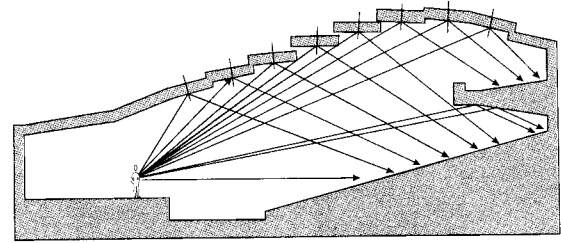
Dan sebagaimana yang telah diuraikan bahwa gelombang bunyi mampu menembus lubang, celah, atau retak yang ada pada objek penghalang, maka sangatlah ideal pemakaian objek penghalang yang tebal, berat, dan memiliki permukaan sempurna tanpa cacat.

4.5. Mengatasi Kebisingan yang Merambat secara *Structureborne*

Gelombang bunyi yang terjadi pada atau berdekatan dengan elemen bangunan dan merambat ke dalam bangunan karena elemen bangunan yang ikut bergetar, pada prinsipnya dapat diatasi dengan penggunaan elemen bangunan dari material yang tidak mudah bergetar. Adapun material yang tidak mudah bergetar umumnya terbuat dari material berat, tebal, rigid namun sekaligus elastis. Material yang memenuhi semua persyaratan ini memang tidak mudah ditemukan, sebab material yang tebal, berat, dan rigid umumnya terbuat dari bahan keras. Namun demikian, dengan harga yang lebih tinggi daripada harga material bangunan pada umumnya, bahan seperti *softboard* yang memenuhi semua persyaratan tersebut dapat diperoleh di pasaran. Kelemahan material ini adalah ketidak-tahanannya terhadap cuaca, terutama kelembaban yang tinggi (seperti halnya terjadi di Indonesia), serta dipasarkan

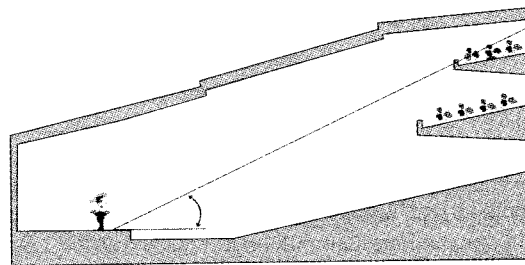


(a)



(b)

Gambar 7.14. *Pemakaian plafon bertrap akan memberikan kemungkinan pantulan suara yang secara teratur mengarah pada penonton (b), sedangkan plafon datar kurang dapat mengarahkan pantulan suara yang teratur (a). Dinding belakang panggung sebaiknya dibuat menyerap suara agar tidak memantulkan kembali suara ke arah depan.*



Gambar 7.15. *Untuk dapat menampung lebih banyak penonton dapat ditambahkan lantai balkon, dengan tetap memperhatikan kenyamanan visual, yakni tinggi maksimum balkon hanya boleh pada ketinggian 30° dari lantai panggung, agar penonton tidak perlu menundukkan kepala.*

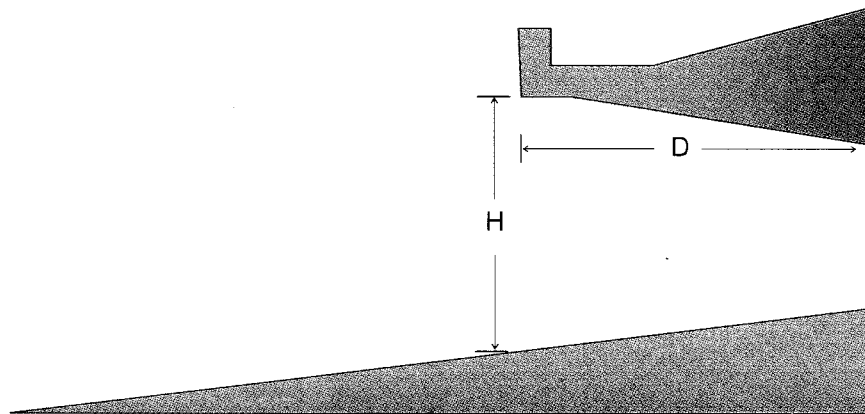
Pada auditorium yang banyak menyajikan acara tanpa bantuan peralatan listrik atau auditorium dengan kapasitas penonton kecil, dinding area penonton seyogyanya juga dirancang untuk memantulkan suara dari penyaji kepada penonton. Namun demikian, agar pemantulan yang dikehendaki berada pada batas-batas bunyi dengung, tidak semua bagian dinding dirancang untuk memantulkan bunyi. Adapun bagian yang umumnya tidak memantulkan bunyi adalah dinding yang berada di dekat area penonton bagian belakang dan dinding bagian belakang penonton.

Pemantulan yang terjadi oleh dinding seyogyanya dapat disebarkan secara merata sehingga ada kemungkinan desain dinding tidak lurus atau melengkung dengan permukaan rata, tetapi dibuat bergerigi. Posisi gerigi ini dapat diatur sedemikian rupa agar pemantulan yang tersebar menempuh jarak yang sama sehingga kualitas bunyi yang diterima penonton juga sama. Bagian depan gerigi, yang menghadap ke arah sumber, sebaiknya diselesaikan untuk menyerap bunyi agar tidak memantulkan bunyi kembali ke arah panggung sehingga tidak menghasilkan bunyi bias. Perlu diatur agar tidak terjadi pemantulan dengan selisih jarak tempuh lebih dari 20,7 m.

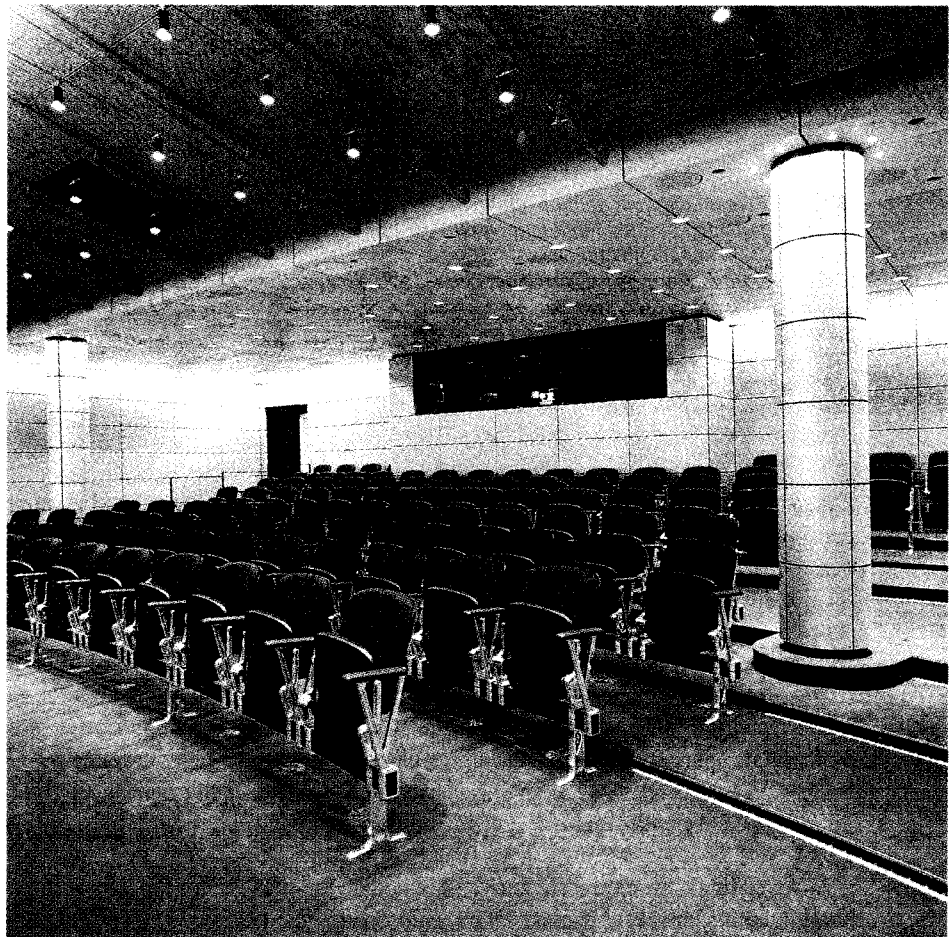
Salah satu bagian lain dari dinding yang rawan kebisingan adalah pintu. Oleh karena itu, idealnya pintu dirancang sedemikian rupa agar kebisingan yang merambat dapat diperkecil. Misalnya dengan merancang pintu rangkap yang memiliki ruang antara di dalamnya. Ruang antara ini tidak perlu dibuat terlalu luas, agar tidak menjadi tempat berkumpul orang, sehingga justru menjadi sumber kebisingan. Ruang antara yang cukup, dengan lebar sekitar 80 cm s.d. 1,5 m pada sebuah auditorium, akan menahan kebisingan dari luar ketika pintu luar dibuka, dan menahan kebisingan dari dalam ketika pintu dalam dibuka.

7.2.9. Lantai Balkon

Kehadiran lantai balkon atau lantai yang berada di atas lantai pertama seringkali diperlukan pada auditorium dengan kapasitas penonton cukup besar, ketika penempatan penonton yang terlalu jauh atau terlalu ke samping dari panggung tidak lagi memungkinkan. Lantai balkon harus didesain dari

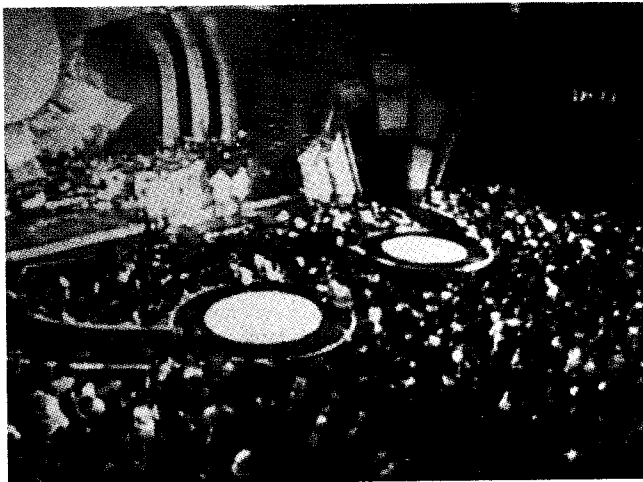


Gambar 7.16. Kedalaman balkon akan menentukan kualitas akustik disesuaikan dengan aktivitas di dalam auditorium. Untuk konser $D \leq H$, opera $D \leq 2H$, dan untuk bioskop dapat mencapai $D \leq 3H$. Atas pertimbangan kualitas akustik, $D \leq 3H$ sedapat mungkin dihindari.



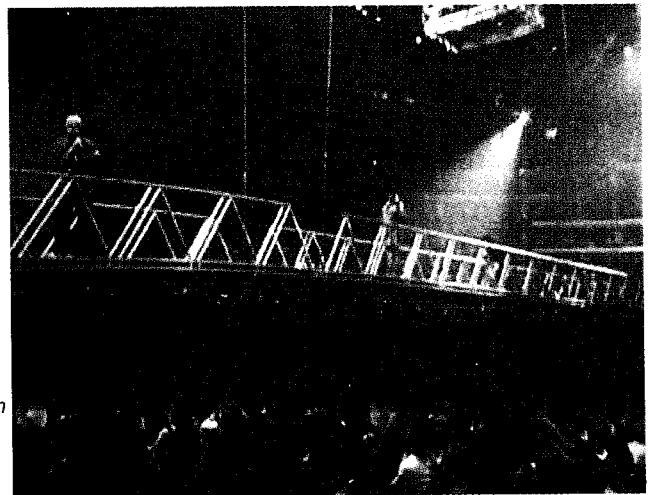
Dok. Gema Ceilings

Gambar 7.17. Auditorium untuk aktivitas speech menggunakan penataan modern. Dengan jumlah kursi yang tidak terlalu banyak, perbedaan ketinggian lantai pada area penonton dapat dibuat tidak signifikan. Kursi yang bisa dilipat secara otomatis ketika tidak digunakan membuat ruangan lebih lapang dan mudah dibersihkan.



Gambar 7.18. Auditorium dengan penataan panggung model terbuka (sebagian menjorok ke arah penonton) dengan penonton kelas festival (berdiri) mengelilingi panggung yang menjorok.

Dok. Mediastika



Gambar 7.19. Auditorium dengan jembatan penghubung yang mampu menampung ribuan penonton saat konser kelompok vokal The Backstreet Boys. Panggung yang digunakan adalah gabungan proscenium dan arena, yang dimodifikasi secara modern. Sebuah jembatan gantung yang diturunkan dari atas dipergunakan untuk menghubungkan panggung proscenium dengan panggung arena di tengah-tengah penonton.

konstruksi dengan kekuatan yang cukup, tidak hanya untuk menahan beban mati (beban struktur dan perabot) dan beban hidup (manusia) namun juga beban hidup yang sangat aktif, misalnya ketika penonton yang menempati lantai balkon ikut bergoyang atau melompat-lompat sesuai materi yang disajikan di panggung. Konstruksi balkon yang kuat akan meminimalkan kemungkinan lantai balkon runtuh.

Lantai balkon sebaiknya didesain bertrap agar penonton yang duduk paling belakang pada lantai balkon memperoleh sudut pandang yang baik ke arah panggung. Idealnya, penonton yang duduk di balkon memperoleh sudut pandang maksimal 30° ke arah panggung (ke arah bawah). Besar sudut 30° adalah batas sudut pandang yang nyaman. Mengikuti persyaratan ini maka balkon dapat dibuat lebih dari satu tingkat, asalkan sudut pandang penonton pada balkon tidak lebih dari 30° . Demikian pula untuk memenuhi persyaratan ini jumlah baris penonton pada balkon biasanya dibuat maksimal 12 baris.

Agar tidak mengurangi kenyamanan dan kualitas penonton lantai satu yang duduk di bawah balkon, maka untuk aktivitas dalam auditorium yang berbeda, dibutuhkan juga kedalaman balkon yang berbeda (Gambar 7.16). Selain karena faktor kedalaman balkon, kenyamanan dan kualitas akustik penonton di bawah balkon tercapai ketika plafonnya dirancang miring-membuka ke arah depan. Hal ini dimaksudkan agar plafon dapat memantulkan suara ke arah penonton di bawah balkon pada model sajian tanpa bantuan peralatan listrik. Plafon semacam ini juga membuat penonton di bawah balkon memiliki sudut pandang yang baik ke arah panggung.

Soal Latihan

1. Keadaan apakah yang menjadi penentu utama kualitas akustik sebuah auditorium?
2. Mengapa pemantulan tertunda (*echo*) akan menimbulkan cacat akustik dalam suatu auditorium?
3. Dalam menentukan waktu dengung sebuah auditorium, bila kemudian ditemukan bahwa waktu dengung tersebut tidak memenuhi baku ideal sebagaimana fungsinya, selayaknya keadaan ini diperbaiki. Bila dimensi (luas dan tinggi) auditorium tidak mengalami perubahan, maka faktor apakah yang harus diperbaiki?
4. Mengapa sebuah auditorium idealnya tidak memiliki lantai ruang penonton berbentuk persegi empat?

Bab 8

STUDIO

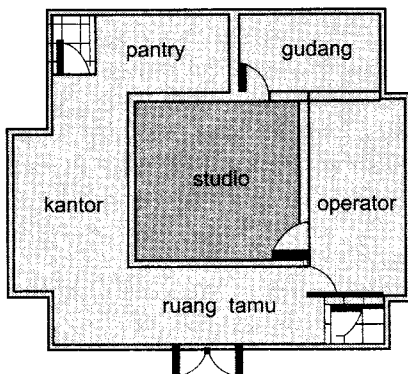
Studio dapat diartikan sebagai ruang bengkel atau tempat seseorang beraktivitas untuk menghasilkan karya. Adapun studio yang hendak dibahas lebih mendalam pada bab ini adalah studio yang menampung aktivitas yang berkaitan dengan bunyi (audio), seperti studio musik (tempat berlatih ataupun rekaman bagi *group band*), studio siaran televisi dan radio, laboratorium bahasa, dan ruang-ruang sejenis lainnya.

8.1. Akustika Luar Ruangan

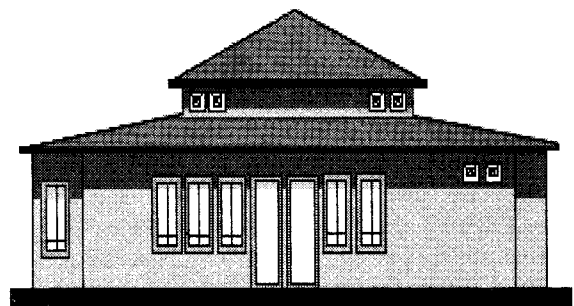
Pengendalian kebisingan adalah kunci utama keberhasilan sebuah ruang studio. Pengendalian ini ditinjau dari dua hal, yaitu (1) menahan masuknya kebisingan dari luar dan (2) menahan keluarnya kebisingan dari dalam, terutama pada studio-studio yang menghasilkan kebisingan tinggi seperti studio untuk musik. Pengendalian agar kebisingan dari luar tidak masuk ke dalam ruang studio sangat penting untuk menjaga konsentrasi pelaku aktivitas dan agar kelangsungan aktivitas berjalan baik. Sebagai contoh, saat terjadi perekaman musik, sangat diharapkan kebisingan dari luar tidak ikut terekam ke dalam studio.

Sebagaimana telah diuraikan pada bab sebelumnya, penyelesaian akustik di luar bangunan studio dapat dilakukan dengan:

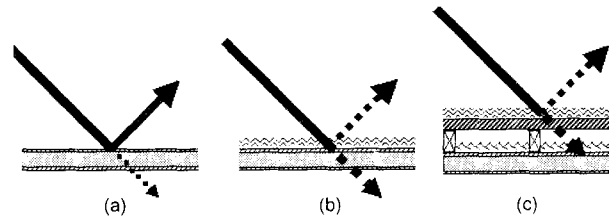
- Usaha-usaha untuk menjauhkan bangunan studio dari sumber kebisingan (pada bangunan yang memiliki lahan cukup luas). Studio dapat didesain berada pada lahan bagian belakang. Sisa lahan di bagian depan dapat dengan sengaja dimanfaatkan untuk area parkir.



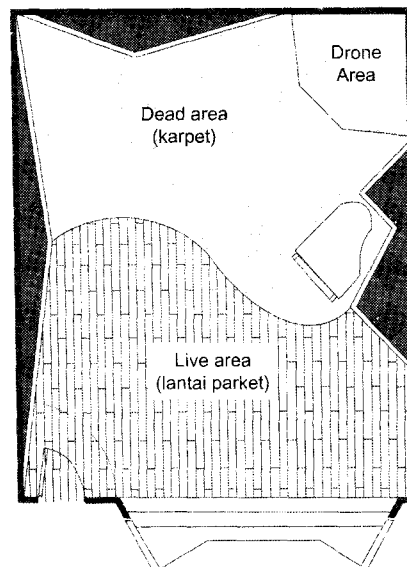
Gambar 8.1. Contoh denah studio yang memakai sistem ruang di dalam ruang



Gambar 8.2. Contoh tampak depan studio yang memakai sistem ruang di dalam ruang. Jika diperlukan, ventilasi dapat diletakkan pada bagian dinding atas yang ditinggikan.

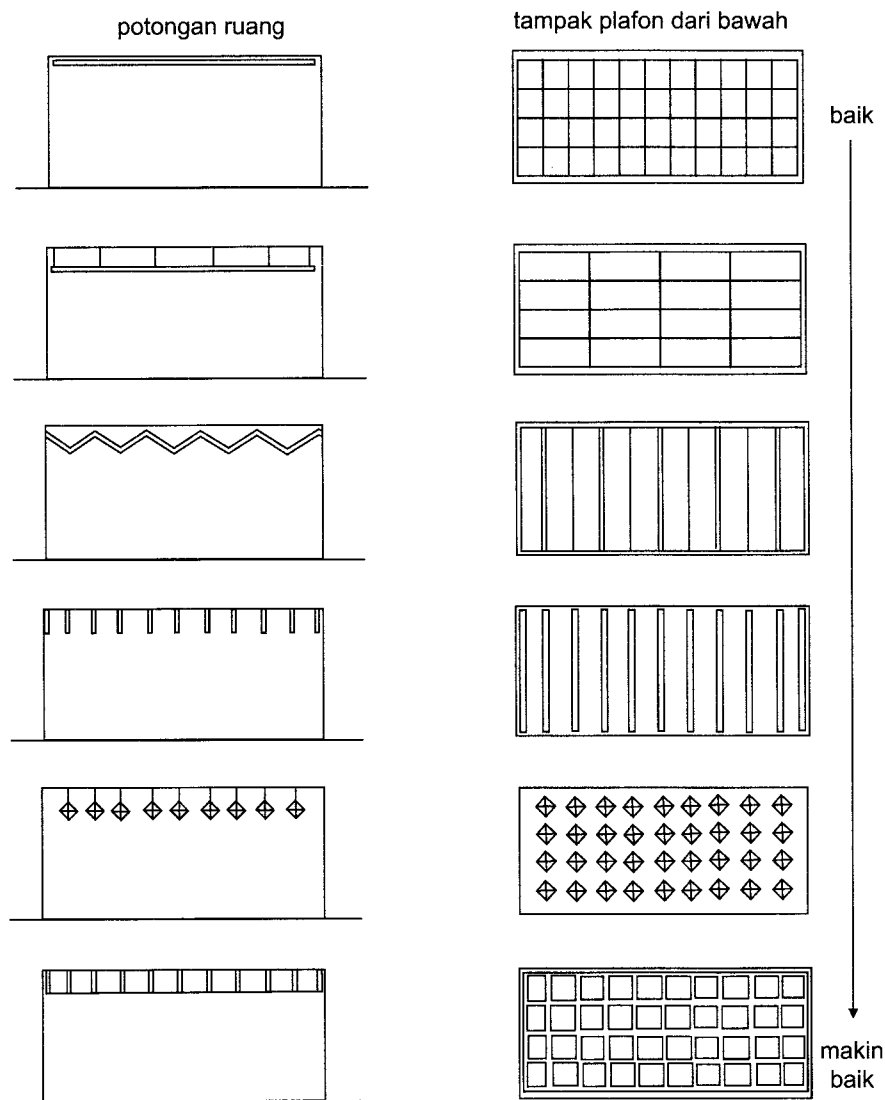


Gambar 8.3. Lapisan lantai tunggal yang terbuat dari bahan licin, selain lebih mudah merambatkan getaran juga memantulkan sebagian besar bunyi kembali ke dalam ruang (a), lantai tunggal yang dilapisi karpet tebal masih mampu merambatkan getaran, namun juga mampu menyerap sebagian besar bunyi (b), lantai ganda dari bahan berbeda yang dilapisi karpet tebal dan rongganya diisi glass-wool mampu meminimalkan perambatan getaran sekaligus menyerap bunyi yang terjadi di dalam ruangan (c).



Gambar 8.4. Ruang studio untuk menampung proses rekaman musik dengan alat musik yang lengkap, terbagi menjadi live dan dead area. Piano biasanya diletakkan pada perbatasan kedua area ini. Pada sudut dead area terdapat drone area (area yang menghasilkan bunyi berdengung).

- Bila kebisingan dari jalan di depan lahan telah sedemikian tinggi, seyogyanyalah dibangun penghalang atau *barrier* dalam wujud yang tidak mengganggu fasad bangunan secara keseluruhan. Agar penghalang yang dibangun tidak terlampaui tinggi, kita menyiasatinya dengan menempatkan ruangan studio pada ketinggian yang lebih rendah daripada permukaan jalan. Untuk bangunan studio yang berdiri pada lahan terbatas dan berbatasan langsung dengan dinding tetangga, penataan *layout* bangunan tertentu dan penempatan penghalang seringkali tidak dimungkinkan. Oleh karena, elemen bangunan yang secara langsung berfungsi sebagai penghalang adalah elemen vertikal bangunan, baik yang menghadap ke jalan maupun yang berbatasan dengan dinding tetangga. Dengan demikian elemen ini perlu didesain secara khusus.
- Selanjutnya, khusus untuk ruang studio, perlu kita pilih konstruksi bangunan dari bahan yang memiliki tingkat insulasi tinggi. Karena kebutuhan akan tingkat ketenangan sangat tinggi, maka ruang studio biasanya dirancang masif (tertutup) dengan menggunakan sistem ventilasi buatan. Namun demikian, bila studio tersebut tidak memiliki sumber listrik sendiri, maka perlu kiranya diantisipasi sebelumnya akan adanya lubang-lubang yang dapat dibuka saat aliran listrik terputus dan dapat dimanfaatkan untuk memasukkan cahaya. Penempatan dan bahan lubang seyogyanya dipilih yang mengurangi kemungkinan masuknya kebisingan ke dalam studio. Khusus ruang studio, perlu didesain dengan sistem lantai ganda (*raised-floor*) yang akan mengurangi masuknya getaran dan kebisingan dari luar ke dalam studio dan sebaliknya meminimalkan getaran dari dalam ruangan ke arah luar. Kebisingan dari luar dapat berasal dari luar bangunan, misalnya



Gambar 8.5. Beberapa model pemasangan plafon yang dapat dipilih untuk studio

dari jalan, atau bisa juga dari dalam bangunan sendiri, tetapi dari ruang lain selain ruang studio. Sistem struktur yang diskontinu dan berelemen ganda (dinding dan lantai ganda serta plafon gantung) akan meningkatkan nilai insulasi ruang, sehingga kebisingan di dalam studio dapat dijaga serendah mungkin.

8.2. Akustika Dalam Ruangan

Ruang studio adalah inti dari sebuah bangunan studio. Namun demikian, untuk memperlancar aktivitas dalam studio, bangunan ini biasanya didukung beberapa ruang lain, yaitu:

1. *Ruang utama*, yang meliputi ruang studio dan ruang operator
2. *Ruang pendukung*, yang meliputi ruang administrasi, dapur kering (*pantry*), kamar mandi, dan lain-lain.
3. *Ruang servis*, yang meliputi ruang generator set, ruang alat/gudang, dan lain-lain.

Dari ketiga kelompok ruang yang ada pada bangunan studio, ruang yang membutuhkan tingkat penyelesaian akustik yang cermat adalah ruang studio dan ruang operator. Sedangkan ruang-ruang lainnya dapat dirancang sebagaimana ruangan lain pada umumnya (kecuali ruang generator set yang sedapat mungkin dirancang terpisah dari bangunan induk studio). Bila akibat keterbatasan ruang, pemisahan ini tidak dimungkinkan, kita dapat membuat lantai *basement* dengan dinding kedap bunyi. Ruang-ruang yang tidak membutuhkan penyelesaian akustik secara cermat dapat diletakkan berdekatan dengan sumber kebisingan yang sekiranya mengganggu aktivitas di dalam studio, sehingga sekaligus dapat menjadi ruang antara yang menahan masuknya kebisingan dari jalan ke dalam studio. Pada kondisi semacam ini studio sangat mungkin menjadi ruang yang berada di dalam ruang lainnya. Bila hal ini diterapkan, maka lubang ventilasi darurat dan cahaya alami diletakkan pada bagian atas dinding studio yang sengaja ditinggikan atau pada bagian atap (Gambar 8.2.)

Konsep akustik ruang studio dan auditorium cukup berbeda. Bila pada auditorium dibutuhkan beberapa pemantulan untuk meningkatkan kualitas bunyi, maka pada ruang studio pemantulan sama sekali tidak diperlukan. Sebuah auditorium sangat mungkin tidak menggunakan bantuan peralatan listrik pada suatu penyajian, namun sebaliknya, aktivitas di dalam studio umumnya selalu membutuhkan bantuan peralatan listrik, seperti halnya studio siaran televisi/radio, studio latihan dan rekaman band maupun laboratorium bahasa.

Pada ruang studio, penikmat atau penonton adalah penyaji atau pelakunya sendiri yang jumlahnya cukup terbatas, sehingga pemantulan untuk memperkuat bunyi jarang diperlukan. Untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan, ruangan justru harus didesain untuk menyerap bunyi. Bila sekiranya dibutuhkan dengung untuk menambah keindahan produk yang dihasilkan, kita dapat menambahkannya dengan bantuan peralatan elektronik yang digunakan (melalui meja kontrol/mixer). Bunyi dengung yang dihasilkan oleh pantulan elemen pembentuk ruang justru tidak dapat dikontrol sesuai tingkat yang dibutuhkan dan seringkali menimbulkan bunyi bias. Namun demikian, dapat pula dijumpai sebuah studio berukuran cukup besar untuk keperluan latihan dan rekaman kelompok musik lengkap, yang terdiri dari permainan alat musik tiup (misalnya trompet), tekan (piano), petik (gitar), dan lain-lain. Pada studio semacam ini, dapat pula dibutuhkan bagian ruangan yang memantulkan bunyi, bukan untuk menyebarkan bunyi, namun lebih untuk memberikan dinamika dan detil pada alat musik yang dimainkan. Adapun alat musik yang idealnya dimainkan pada ruangan dengan pemantulan cukup misalnya adalah jenis alat musik berdawai (seperti: gitar, harpa, biola, cello, dan lain-lain) dan alat musik tiup (seperti: trompet, trombon, klarinet, dan lain-lain). Sedangkan alat musik yang akan menghasilkan bunyi lebih baik ketika dimainkan pada ruangan yang menyerap bunyi adalah: drum, bass, gendang. Perbedaan kebutuhan pemantulan dan penyerapan ini dapat disediakan dalam ruang terpisah. Namun, penyelesaian semacam ini mengurangi terjadinya komunikasi yang baik di antara para pemain musik, baik pada saat latihan atau rekaman secara bersama-sama. Oleh karenanya, dapatlah kita desain sebuah studio besar yang terdiri dari *live area* pada suatu sudut dan *dead area* pada sudut yang lain (Gambar 8.3). *Live area* adalah sudut ruang yang memantulkan bunyi dan *dead area* adalah sudut ruang yang menyerap bunyi.

8.3. Penyelesaian Akustik Lantai Ruang Studio dan Operator

Untuk mengurangi masuk dan keluarnya getaran dari luar dan dari dalam studio, lantai studio sebaiknya dirancang dengan model lantai ganda (*raised-floor*). Sistem lantai ganda ini idealnya terbuat dari material yang berbeda agar getaran tidak mudah diteruskan. Sebagai contoh, lantai utama dipilih dari material beton cor, kemudian lantai kedua disusun dari rangka besi atau kayu, dan ditutup dengan papan kayu atau papan multipleks tebal. Faktor lainnya, peletakan kedua lantai tersebut juga disusun tidak menempel satu dengan yang lain (ada ruang di antara keduanya yang berisi udara), sehingga peredaman getaran lebih maksimal. Di dalam rongga antara ini dapat diletakkan selimut akustik. Selimut akustik yang banyak dijual di pasaran terbuat dari bahan *glass-wool*.

Sebelumnya telah diuraikan bahwa secara umum ruang studio dirancang sebagai ruang yang tidak memantulkan bunyi kecuali studio musik yang lengkap, maka, lantai studio seyogyanya dilapisi

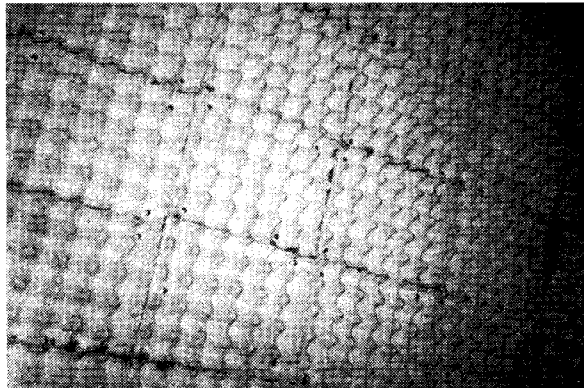
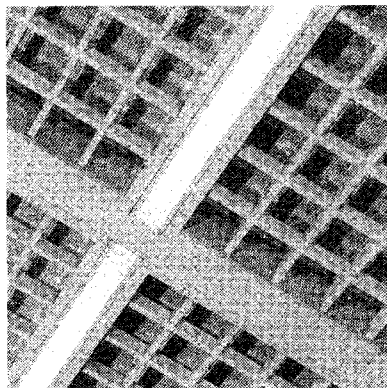
dengan karpet tebal. Selain untuk meredam getaran, karpet tebal juga sangat efektif meredam bunyi di atas lantai yang tidak dikehendaki, seperti langkah kaki. Pada studio untuk permainan alat musik lengkap, lantai pada sudut ruang yang memantulkan bunyi sebaiknya terbuat dari papan kayu halus.

8.4. Penyelesaian Akustik Plafon Ruang Studio dan Operator

Untuk mengurangi getaran, konstruksi plafon ruang studio idealnya tidak dipasang menempel pada rangka atap, namun dipasang menggantung. Rangka plafon dapat dibangun memakai bahan yang umum dipergunakan seperti baja, aluminium, atau kayu. Selanjutnya rangka ini ditutup papan kayu atau multipleks, dan dilapisi *acoustic tile*. Selain dilapisi *acoustic tile* yang secara umum hanya baik untuk menyerap bunyi berfrekuensi tinggi, untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah dapat pula dipasang papan penyerap dengan posisi sejajar dinding (tegak lurus plafon). Papan penyerap ini bisa jadi berupa panel-panel mendatar atau berbentuk bola-bola bersegi banyak seperti lampion (Gambar 8.5).

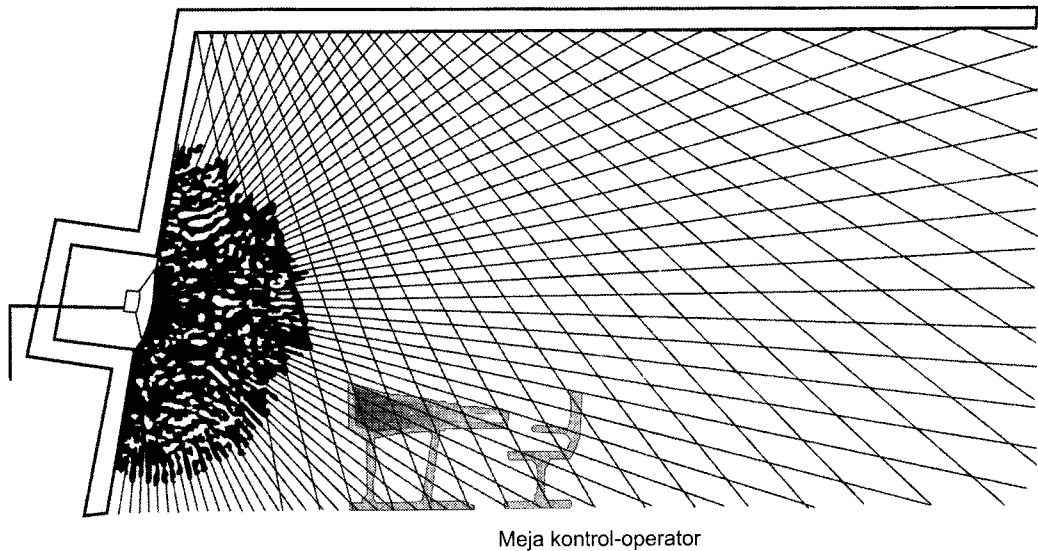
Selain bahan-bahan yang telah disebutkan di atas, untuk pelapis plafon juga dapat dipakai bahan sederhana yang terbuat dari karton olahan yang banyak dipergunakan sebagai tempat telur atau tempat buah (Gambar 8.6). Bahan semacam ini memang tidak memberikan hasil penyerapan bunyi yang maksimal, namun pada kondisi terbatas, bahan ini masih dapat dipergunakan sebagai pelapis yang mampu meminimalkan pantulan.

Khusus untuk plafon ruang operator, seandainya tidak secara keseluruhan dirancang dari bahan yang menyerap bunyi, maka perlu ditata/dibentuk sedemikian rupa agar tidak memberikan pantulan ke arah operator secara langsung. Pemantulan semacam ini dapat menyebabkan penilaian operator

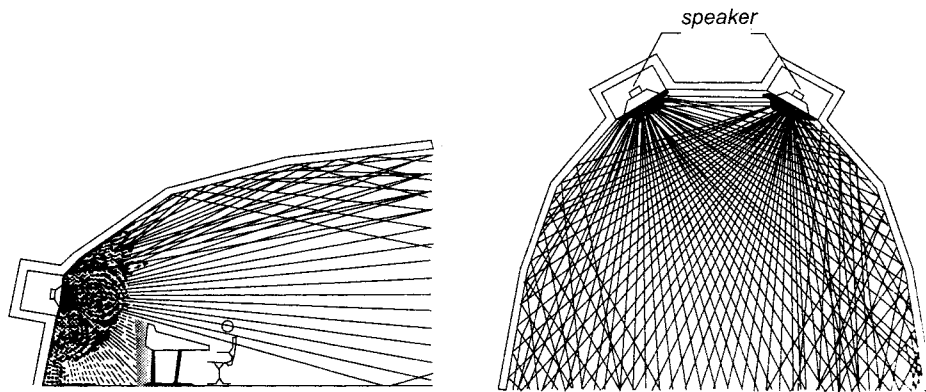


Dok. Gema Ceilings dan Mediastika

Gambar 8.6. Gambar atas menunjukkan pemakaian panel-panel yang digantung untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah. Gambar kanan adalah pemakaian plafon gantung dalam susunan grid kotak-kotak yang mampu menyerap bunyi berfrekuensi sedang. Gambar kiri adalah tempat telur dari kertas olahan yang juga sering digunakan untuk bahan penutup plafon dan dinding studio untuk menyerap bunyi berfrekuensi tinggi.



Gambar 8.7. Diagram garis pemantulan pada ruang operator. Pemantulan yang terutama terjadi oleh plafon akan menyebabkan penilaian operator terhadap kualitas bunyi dari ruang studio kurang sah.

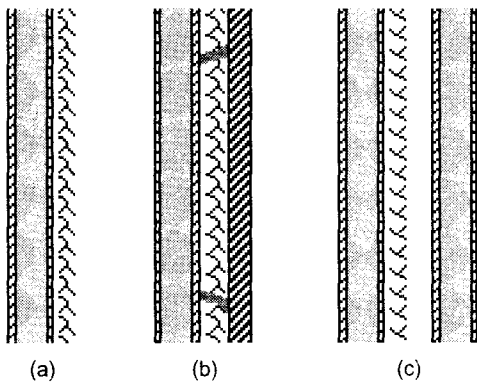


Gambar 8.8. Diagram garis pemantulan pada potongan dan denah ruang operator dengan plafon yang didesain untuk tidak memantulkan bunyi ke arah operator. Pemantulan yang terjadi mengarah ke bagian belakang. Keadaan ini lebih ideal dibandingkan plafon mendatar seperti pada Gambar 8.7

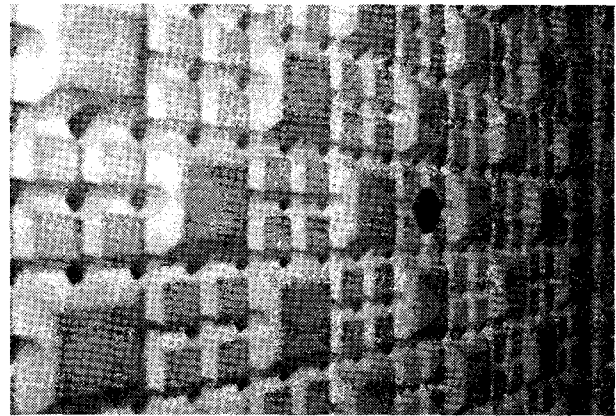
terhadap kualitas bunyi dari ruang rekam menjadi tidak sah. Operator bertugas sebagai pengontrol kualitas bunyi hasil aktivitas di dalam ruang studio dengan bantuan peralatan *loud speaker* dan *speaker* dan meja kontrol/*mixer*. Kualitas bunyi yang didengar operator idealnya murni datang dari *speaker* dan tidak bercampur dengan pantulan oleh bidang batas ruang operator, sehingga bunyi yang diambil pada meja kontrol menjadi sesuai dengan kebutuhan, misalnya harus meminimalkan *bass*, *treble*, atau *reverberation*.

8.5. Penyelesaian Akustik Dinding Ruang Studio

Seperti halnya lantai, untuk mengurangi getaran, idealnya dinding studio dirancang sebagai dinding ganda dari bahan yang berbeda, dengan rongga antara berisi udara. Untuk meminimalkan peredaman getarannya, maka dalam rongga udara juga dapat diletakkan busa akustik. *finishing* dinding dilakukan dengan bahan lunak yang menyerap bunyi, seperti busa akustik atau karpet atau karpet yang ditempelkan pada dinding.

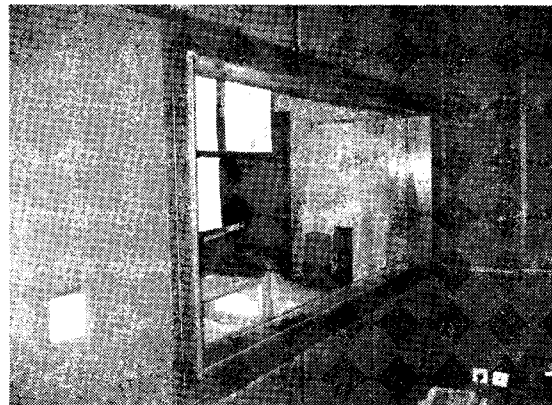
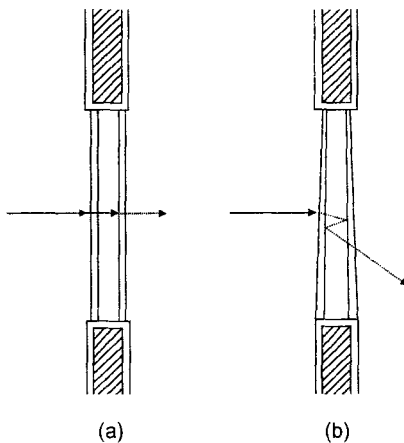


Gambar 8.9. Beberapa kemungkinan penyelesaian dinding studio: dinding bata atau beton yang dilapisi bahan yang menyerap bunyi seperti acoustic tile atau karpet (a), dinding ganda terbuat dari bahan berbeda, yaitu dinding bata atau beton yang dilapisi papan kayu yang dikaitkan pada dinding pertama dan rongganya diisi glass-wool (b), dinding ganda dari bahan yang sama yaitu bata atau beton dengan rongga yang diisi glass-wool (c).



Dok. Topan Giovanni

Gambar 8.10. Contoh pelapis dinding yang digunakan pada sebuah studio musik

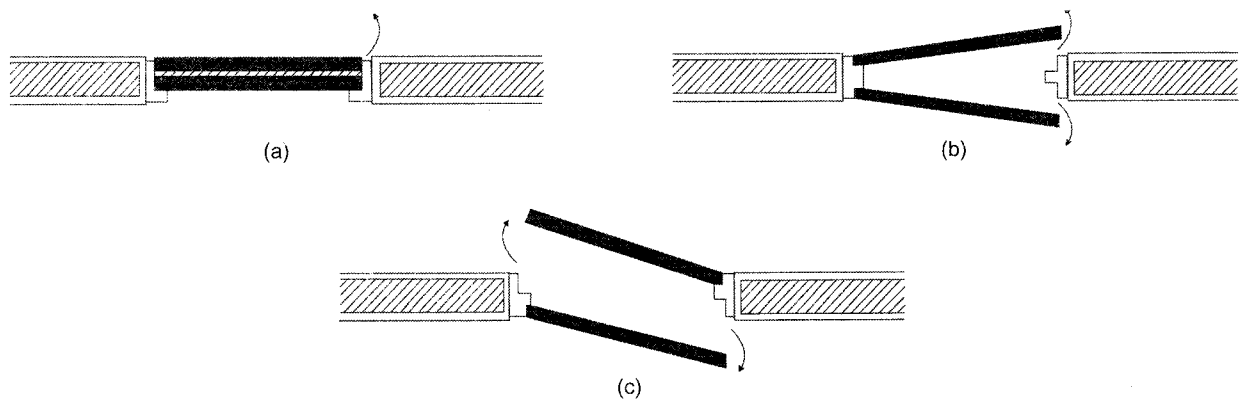


Dok. Brian Patria

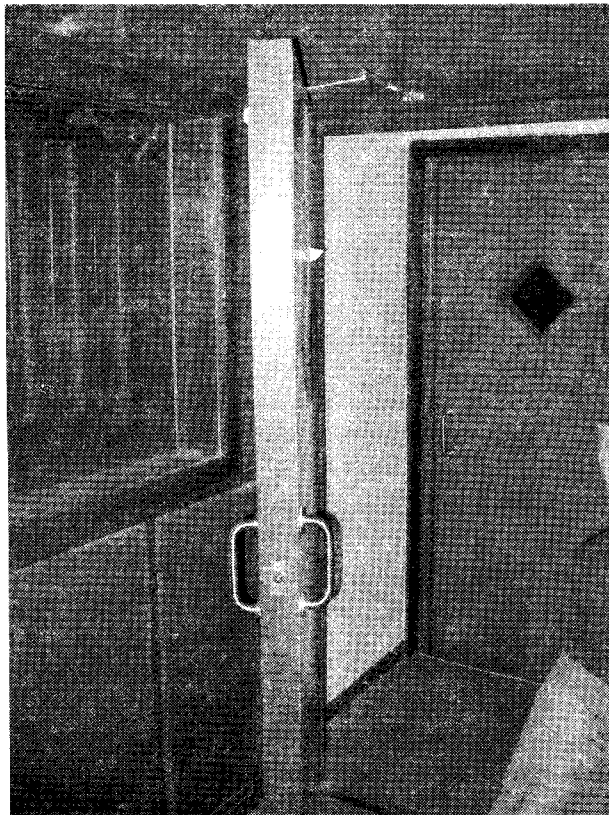
Gambar 8.11. Skema pemakaian jendela ganda pada ruang studio dan penggunaannya. Posisi ganda yang sejajar lebih memudahkan perambatan bunyi (a) dibandingkan posisi ganda yang tidak sejajar (b). Maka, pemasangan model (b) lebih dianjurkan. Penggunaan jendela ganda tidak sejajar pada sebuah studio siaran radio (c)

Bagian kritis pada dinding adalah jendela dan pintu. Dimensi ruang studio yang tidak terlalu besar, biasanya memungkinkan studio diselesaikan dengan sistem pengudaraan buatan. Pemasangan pengudaraan buatan pada ruang studio dan ruang operator perlu diatur dengan menggunakan peralatan yang terpisah antara unit *indoor* dan unit *outdoor*-nya (*AC split*). Unit *outdoor* yang menghasilkan kebisingan cukup keras seyogyanya diletakkan sejauh mungkin dari ruangan (Gambar 8.16). Sementara unit *indoor*-nya tetap diletakkan dalam ruang studio dengan posisi setinggi mungkin atau sejauh mungkin dari mikrofon, agar angin yang dihisap tidak langsung menuju pada mikrofon.

Namun demikian, sebagai akibat dari besarnya kemungkinan putusnya aliran listrik sewaktu-waktu, maka peletakan lubang ventilasi ada kalanya diperlukan. Idealnya, lubang ini diletakkan pada plafon menerus ke atap, agar perambatan kebisingan dapat diminimalkan. Sedangkan untuk pencahayaan alami, sekiranya diperlukan, dapat diperoleh dari jendela dengan model kaca ganda. Selain untuk keperluan pencahayaan, sebuah ruang studio umumnya juga memiliki jendela kaca mati

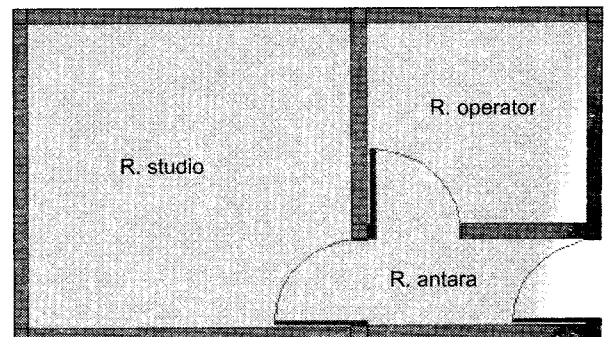


Gambar 8.12. Skematis pemakaian pintu ganda pada studio. Pintu studio dapat diselesaikan dengan sebuah pintu tebal, yang seringkali sekaligus difungsikan sebagai almari penyimpanan kaset/CD atau peralatan lain (a), atau pintu ganda dengan arah buka tidak sejajar (b) dan pintu ganda dengan arah buka sejajar (c). Pemakaian pintu ganda lebih ideal dari pintu tunggal yang tebal. Seyogyanya ruang antara yang tercipta di antara dua pintu adalah seukuran tubuh manusia, sehingga setelah pintu pertama dibuka, ada ruang bagi orang untuk berada di antara dua pintu agar dapat menutup pintu pertama terlebih dahulu sebelum membuka pintu kedua sehingga perambatan bunyi sangat minimal.

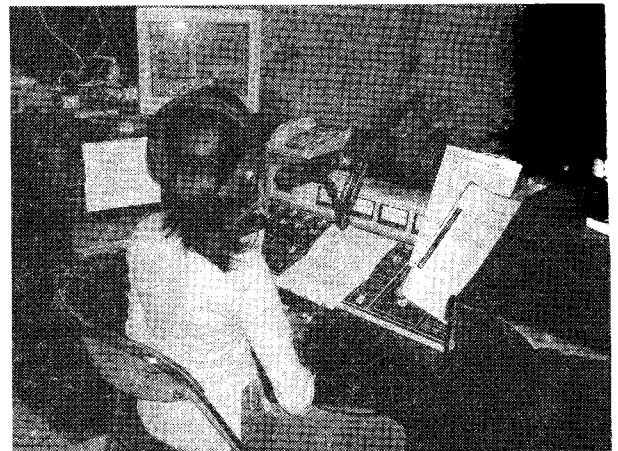


Dok. Brian Patria

Gambar 8.14. Contoh pemakaian pintu ganda pada sebuah studio

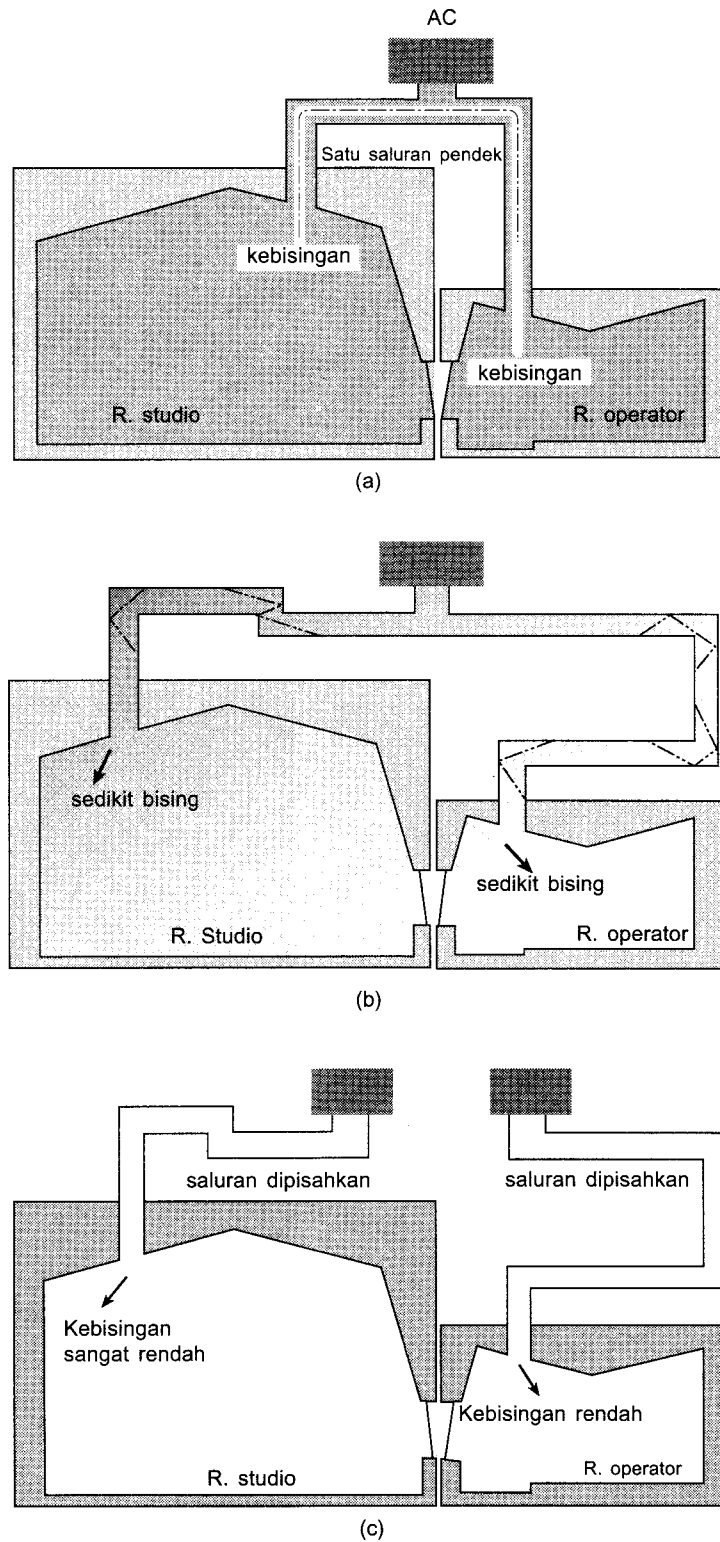


Gambar 8.13. Pintu ganda ruang studio disatukan dengan ruang operator sehingga terbentuklah ruang antara

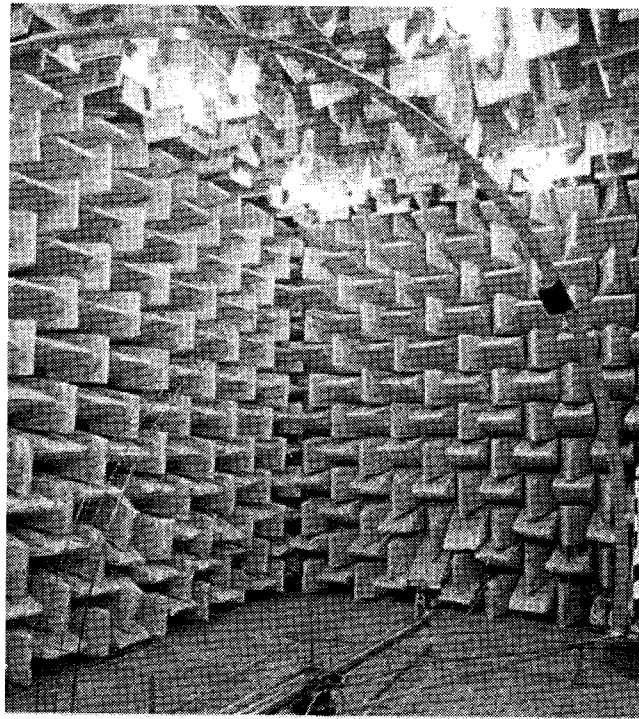


Dok. Mediastika

Gambar 8.15. Suasana di dalam ruang studio siaran, ketika penyiar sekaligus menjadi operator



Gambar 8.16. Pemilihan pemakaian saluran pengudaraan yang tepat dapat menghindarkan kita dari kebisingan. Kemungkinan kebisingan yang muncul dapat diatasi melalui pemisahan saluran pengudaraan buatan. Saluran yang menyatu membuat kedua ruangan dilanda kebisingan yang cukup tinggi (a). Saluran yang menyatu namun dijauhkan dari ruangan dapat mengurangi kebisingan yang disalurkan (b). Saluran yang terpisah akan sangat meminimalkan perambatan kebisingan yang terjadi di antara kedua ruangan (c).



Dok. Mediastika

Gambar 8.17. *Anechoic chamber pada sebuah laboratorium*

yang dipergunakan untuk saling berkomunikasi antara si pelaku aktivitas di ruang studio dengan si pelaku aktivitas di ruang operator. Komunikasi yang berlangsung seringkali hanya berupa gerakan (tanpa suara) untuk menginformasikan apakah suara yang dihasilkan pelaku pada ruang studio kurang tinggi dan sebaliknya atau untuk menghentikan aktivitas di dalam ruang studio. Jendela kaca untuk berkomunikasi ini sebaiknya juga terbuat dengan model kaca ganda, agar kebisingan dari ruang operator yang masuk ke ruang studio dapat ditekan sampai angka minimal.

Pintu ruang studio adalah bagian yang paling rawan sebab pintu itu kemungkinan senantiasa diperlukan untuk dibuka-tutup. Agar aktivitas di dalam studio dapat terus berlangsung meski pintu dalam keadaan dibuka-tutup, maka pintu studio tidak cukup hanya diselesaikan dengan material tebal-berat-masif, namun harus berupa pintu ganda dengan ruang antara di tengah keduanya. Ruang antara ini dibuat dalam luasan yang cukup bagi orang untuk tinggal sementara di dalamnya, sebelum akhirnya membuka pintu berikutnya. Ruang antara idealnya tidak dibuat terlampau besar, agar tidak menjadi tempat berkumpulnya beberapa orang yang kemungkinan justru menimbulkan kebisingan.

Karena tingkat ketenangan yang dibutuhkan hampir sama, maka pintu ganda ruang studio dan operator dapat disatukan (Gambar 8.13).

8.6. Akustik Ruang Studio untuk Laboratorium

Pada institusi pendidikan dan penelitian, atau institusi yang sengaja memfokuskan aktivitas pada permasalahan akustik, biasanya terdapat ruang laboratorium untuk melakukan uji materi yang berhubungan dengan akustik. Ruang laboratorium ini dibedakan menjadi dua, yaitu: ruang uji tanpa pantulan (*anechoic chamber*) dan ruang uji pemantulan (*reverberant chamber*). Selain melapisi bagian dalam ruang-ruang tersebut dengan bahan yang sesuai dengan kebutuhan dan fungsi ruang, untuk menjaga kesahihan hasil uji, bila ruang tersebut berdekatan dengan sumber kebisingan, maka struktur bangunan/struktur ruang tersebut idealnya juga diselesaikan dengan metode struktur diskontinu atau metode elemen ganda.

Soal Latihan

1. Sebutkan dua hal yang menjadi kunci keberhasilan rancangan sebuah studio?
2. Prinsip akustik semacam apa yang dapat diterapkan untuk mengendalikan masalah kebisingan dalam studio?
3. Mengapa studio umumnya tidak membutuhkan terjadinya pemantulan bunyi dalam ruangan?
4. Bagaimanakah sebaiknya penyelesaian pintu suatu studio?

Bab 9

BANGUNAN UMUM

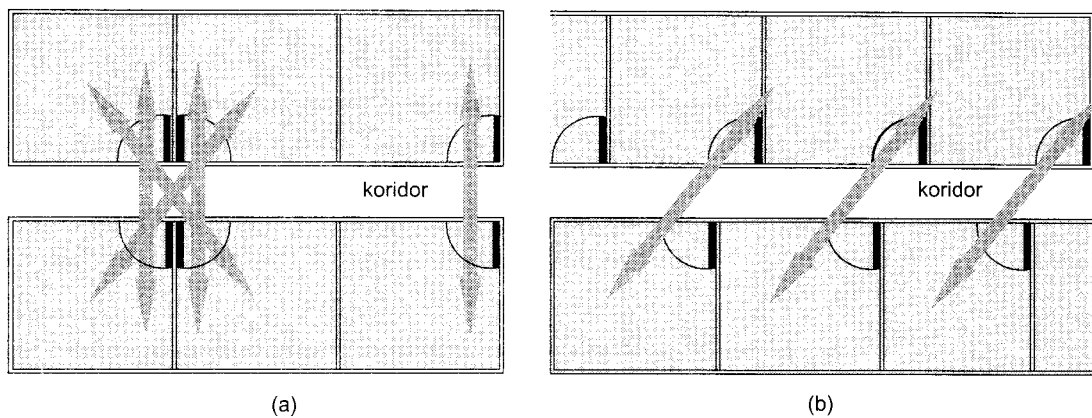
Pendapat yang menyimpulkan bahwa desain secara akustik hanya dibutuhkan pada bangunan-bangunan yang masuk dalam kategori *room acoustics* sangatlah tidak tepat. Sebab, meski memiliki fungsi yang berbeda-beda, setiap bangunan yang berdekatan dengan sumber kebisingan seyogyanya mendapatkan penyelesaian akustik yang memadai sesuai dengan fungsinya. Bahkan rumah tinggal sekalipun, bila terletak berdekatan dengan industri atau berada di tepi jalan raya atau sumber kebisingan lain yang amat keras, perlu dirancang dengan penyelesaian akustik yang baik. Prinsip perancangannya terletak pada *layout* bangunan yang memisahkan ruang yang membutuhkan ketenangan dari ruang yang menghasilkan kebisingan, sekaligus meletakkan ruang yang membutuhkan ketenangan agar berada sejauh mungkin dari sumber kebisingan di luar bangunan. Selanjutnya bila diperlukan, kita dapat memilih penghalang sebagai elemen yang berfungsi membatasi perambatan kebisingan. Bila rancangan ini dirasa masih kurang, maka pemakaian dinding-kombinasi dengan tingkat insulasi cukup tinggi juga dapat menjadi pilihan.

9.1. Akustika pada Bangunan Perkantoran

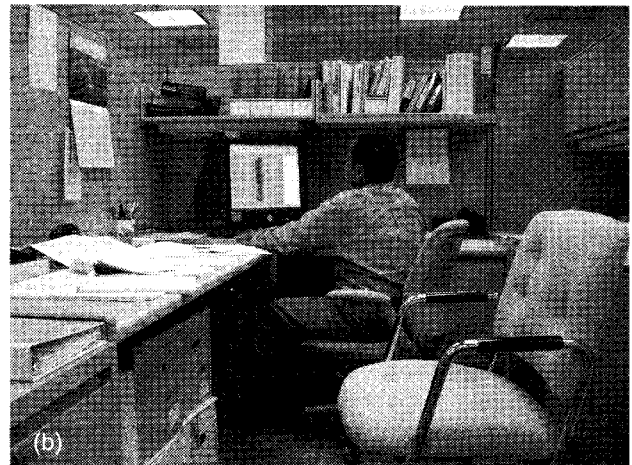
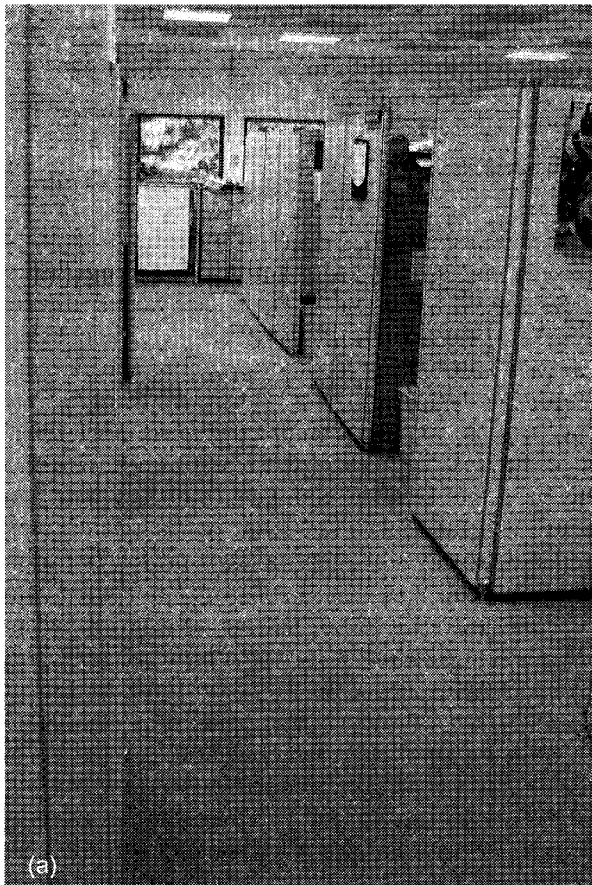
Bagi bangunan yang berfungsi sebagai kantor, penyelesaian akustik yang dapat ditempuh pada tahap pertama adalah pengelompokan area peruntukan (*zone*) yang tepat. Kelompok ruang yang menghasilkan kebisingan, seperti *hall* dan kantin, diletakkan pada posisi yang mudah dijangkau, yaitu pada area publik dan sangat mungkin untuk diletakkan berdekatan dengan jalan di depan bangunan. Sementara itu, ruang kerja dan ruang pertemuan diletakkan pada bagian yang lebih dalam, tertutup oleh ruang publik yang akan meminimalkan masuknya kebisingan dari jalan.

Pada perkantoran dengan ruang-ruang yang terpisah, peletakan pintu antar ruang perlu diatur agar tidak saling berhadapan atau saling berdekatan. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan masuknya kebisingan dari selasar atau dari ruang yang satu ke ruang lain. Sebuah ruang kantor juga dapat dirancang secara *cubicle*, di mana para karyawan berada dalam satu ruang besar dan antar meja karyawan dipisahkan oleh dinding dari bahan semipermanen yang tingginya tidak mentok ke plafon. Pada model *cubicle*, dinding pembatas hanya mampu menjadi pembatas secara visual, namun tidak secara audio. Oleh karena itu, untuk menjaga kerahasiaan pembicaraan pada tiap *cubicle*, keberadaan *background noise* atau kebisingan latar belakang justru diperlukan. Kebisingan latar belakang yang berada pada tingkat kekerasan yang tepat, yaitu maksimum sampai 40 dB, tidak akan mengganggu aktivitas dalam kantor, namun cukup untuk menimbulkan kebisingan latar belakang yang mampu menutup percakapan telepon atau pembicaraan antar karyawan agar tidak mengganggu *cubicle* di sebelahnya, atau untuk menjaga kerahasiaannya, meski pembicaraan tidak perlu dilakukan secara berbisik.

Beberapa cara dapat diterapkan untuk menciptakan kebisingan latar belakang, misalnya dengan memutar musik yang terdengar ke seluruh ruangan. Kebisingan latar belakang juga dapat tercipta dengan sendirinya bila elemen pembentuk ruang tidak diselesaikan secara menyeluruh dengan material yang menyerap bunyi, sehingga terjadi pantulan bunyi pada beberapa tempat. Ruangan yang dirancang dengan material yang menyerap bunyi secara menyeluruh akan menimbulkan ketenangan yang tinggi sehingga justru meniadakan kebisingan latar belakang.

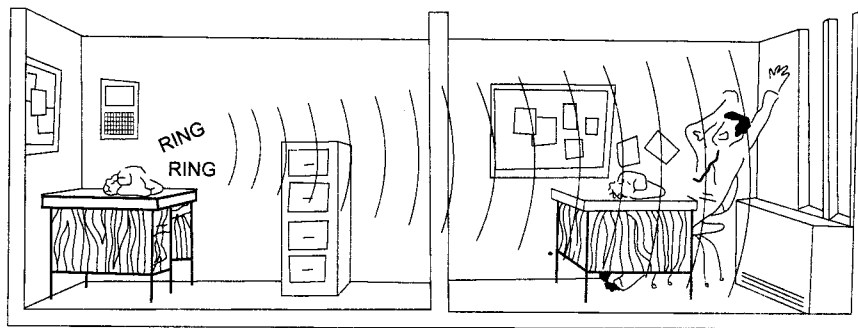


Gambar 9.1. Pada bangunan publik, seperti kantor, hotel, dan lain sebagainya, peletakan pintu ruang yang menghadap koridor perlu mendapat perhatian agar dapat meminimalkan perambatan kebisingan dari satu ruang ke ruang lain. Peletakan pintu yang saling berdekatan dan berhadapan menyebabkan sebuah pintu siap menerima kebisingan dari tiga pintu lainnya (a). Sedangkan pada peletakan menyilang, jarak tempuh kebisingan semakin jauh dan sebuah pintu hanya menderita kebisingan dari dua pintu lainnya (b).

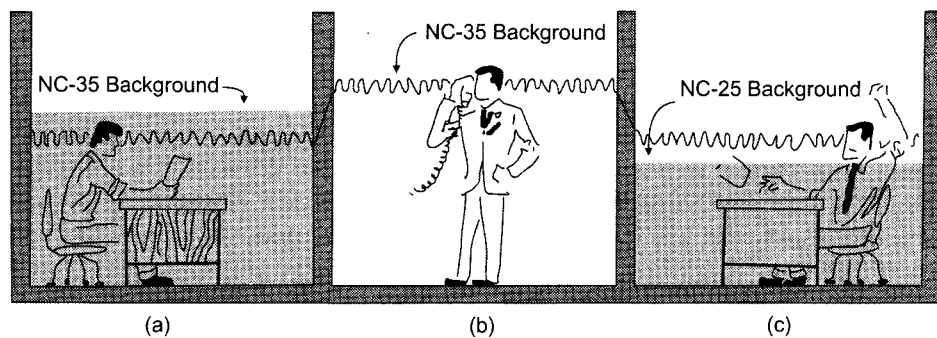


Dok. Mediastika

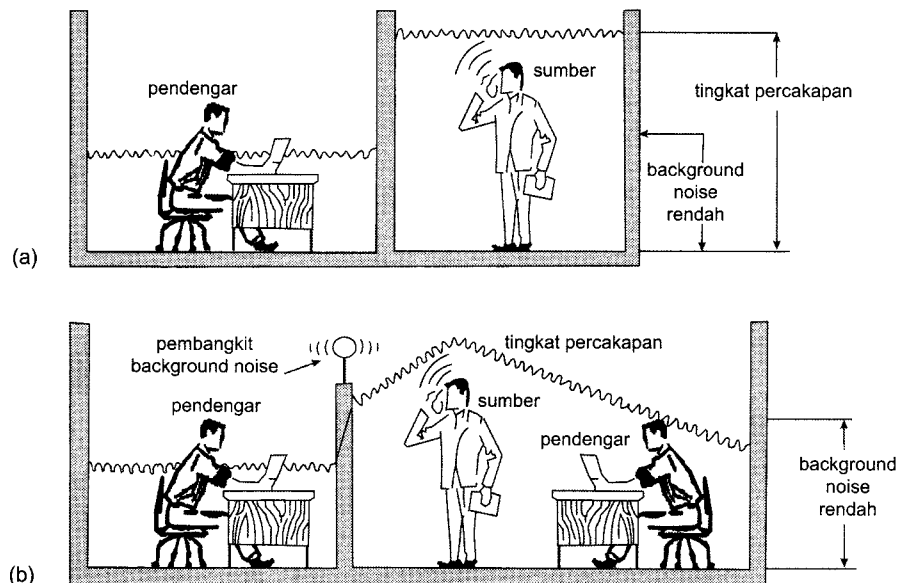
Gambar 9.2. Layout kantor dalam model cubicle menyebabkan seseorang memiliki keterbatasan visual tetapi tidak mendapatkan pembatasan kebisingan dari cubicle lain di sekelilingnya



Gambar 9.3. Tanpa adanya background noise, deringan telepon di cubicle sebelah bisa sangat mengganggu (Stein, dkk 1986)



Gambar 9.4. Tiga buah cubicle dengan kondisi akustik berbeda. Pada cubicle (a) karyawan memiliki background noise yang cukup tinggi (misalnya mendengarkan musik) sehingga kebisingan yang muncul dari cubicle (b) tidak terlalu mengganggu, sebaliknya bunyi itu terasa sangat mengganggu bagi cubicle (c) karena background noise-nya terlalu rendah. (Stein, dkk 1986).
Keterangan: NC adalah Noise Criteria (lihat bab II).



Gambar 9.5. Agar tidak menimbulkan gangguan, kebisingan yang diterima harus berada di bawah level background noise. Bila sekiranya disadari bahwa dalam suatu ruangan sangat potensial muncul sumber-sumber kebisingan, maka dapat sengaja diletakkan pembangkit background noise yang cukup menyenangkan, biasanya berupa musik (Stein dkk, 1986).

9.2. Akustika pada Bangunan Hotel dan Sejenisnya

Pada bangunan hotel dan sejenisnya, ruang-ruang yang menghasilkan kebisingan seperti *hall*, bar, café atau restoran seyogyanya diletakkan pada posisi yang berdekatan dengan sumber kebisingan di luar bangunan. Sementara itu, kamar-kamar hunian diletakkan pada letak yang lebih dalam/jauh. Namun demikian, lokasi pada bagian dalam biasanya juga difungsikan untuk peletakan ruang servis, seperti *laundry*, dapur, dan ruang mesin. Oleh karenanya, perlu diusahakan agar meskipun menempati area yang sama, kebisingan pada ruang servis tidak masuk ke kamar-kamar hunian. Pada hotel yang dibangun dalam wujud bangunan berlantai banyak, kamar hunian biasanya diletakkan pada lantai setelah lantai pertama yang dipakai sebagai ruang servis.

Hotel dengan sistem koridor di tengah-tengah kamar hunian, perlu diatur rancangannya agar koridor tidak menjadi sumber kebisingan. Lebar koridor yang sempit dengan dinding kiri-kanan yang paralel akan memungkinkan terjadinya pemantulan. Oleh karena itu, sebaiknya koridor diselesaikan dengan material yang menyerap atau dirancang tidak paralel satu dengan lainnya. Rancangan ini dapat berupa dinding yang secara landai condong ke atas atau ke bawah, atau dinding yang secara landai membentuk ruang koridor yang meluas atau menyempit. Cara lain yang dapat ditempuh adalah melapisi dinding yang sejajar tersebut dengan material yang bersifat *diffus* untuk menghilangkan *standing waves* atau *flutter-echoes*.

Peletakan pintu-pintu kamar hunian juga perlu diatur agar tidak saling berhadapan sehingga kebisingan yang ditimbulkan oleh pintu suatu kamar hunian tidak masuk ke kamar hunian lainnya.

9.3. Akustika pada Bangunan Sekolah dan Sejenisnya

Perancangan akustik pada bangunan sekolah yang banyak dijumpai di Indonesia sudah cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari fakta bahwa ruang-ruang kelas yang membutuhkan tingkat ketenangan cukup tinggi umumnya tidak berdekatan langsung dengan sumber kebisingan dari jalan. Area yang berdekatan dengan jalan umumnya digunakan sebagai lapangan upacara/lapangan olahraga. Namun demikian, permasalahan kebisingan pada bangunan sekolah seringkali justru datang dari dalam sekolah sendiri, yaitu ketika umumnya siswa tengah menempuh pelajaran di dalam ruang, sementara ada kelas lain yang tengah berolah raga atau ada kelas yang kosong pelajaran. Keadaan ini dapat mengganggu konsentrasi siswa di dalam kelas.

Penyelesaian akustik yang dapat ditempuh untuk mengatasi masalah ini adalah dengan membuat perbedaan ketinggian yang cukup signifikan antara ruang kelas dengan area lapangan, misalnya membuat ruang kelas lebih rendah atau lebih tinggi dari lapangan. Reduksi kebisingan akan lebih berhasil ketika ruang kelas lebih rendah dari lapangan, sebab perambatan gelombang bunyi kebisingan akan terputus oleh dinding yang terbentuk dari perbedaan ketinggian tersebut. Pada keadaan ini,



Gambar 9.6. Posisi ruang kelas yang lebih rendah dari lapangan atau arena olah raga akan meminimalkan menerusnya kebisingan ke dalam kelas

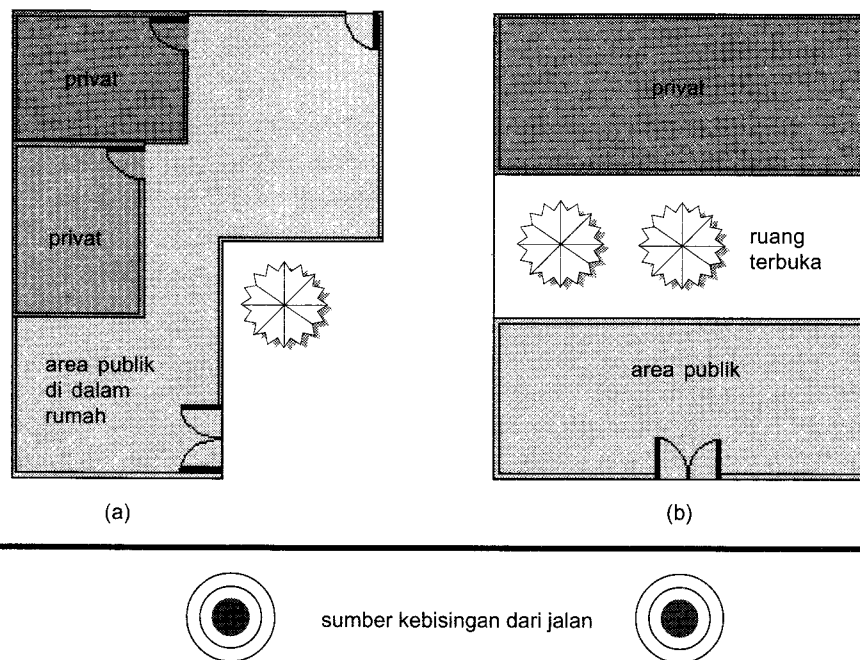
aliran udara melalui jendela tidak dapat maksimal, namun dapat digantikan melalui keberadaan lubang pada plafon dan atap. Keadaan rawan lainnya yang dapat menyulitkan adalah ketika sekolah berada di daerah yang rawan banjir dan tidak memiliki *drainase* (*saluran pembuangan air*) yang baik.

Posisi ruang kelas yang lebih tinggi dari lapangan juga dapat mengurangi kebisingan yang terjadi, namun hal ini tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan oleh perambatan gelombang bunyi yang tidak terputus, namun hanya menempuh jarak yang sedikit lebih jauh. Perambatan akan terputus bila jendela untuk ventilasi pada sisi berdekatan lapangan diubah posisinya menjadi lebih tinggi atau berada di plafon dan atap.

9.4. Akustika pada Bangunan Rumah Sakit dan Sejenisnya

Sebagaimana penyelesaian akustik bangunan publik lainnya, maka pemisahan ruang yang membutuhkan ketenangan (seperti ruang rawat inap) dengan yang menghasilkan kebisingan, akan menghasilkan tingkat akustik yang baik pada sebuah rumah sakit. Pada area rawat inap sendiri, kebisingan umumnya berasal dari koridor dan pintu kamar pasien lainnya. Oleh karena itu peletakan pintu yang tidak saling berhadapan atau berdekatan akan meminimalkan perambatan kebisingan.

Untuk tujuan kebersihan dan kemudahan perawatan, lantai dan dinding koridor rumah sakit biasanya tidak diselesaikan dengan material lunak yang menyerap bunyi seperti karpet, tetapi diselesaikan dengan material licin dan keras. Bahkan sering pula dijumpai dinding koridor rumah sakit dilapisi dengan material penutup lantai dari keramik. Kondisi ini akan menyebabkan terjadinya *flutter-echoes*, sehingga idealnya posisi dinding yang berhadapan dibuat tidak sejajar, tetapi condong landai ke atas atau ke bawah, atau membentuk lebar koridor yang menyempit/melebar. Sementara itu,



Gambar 9.7. Bangunan rumah tinggal yang terletak di tepi jalan raya seyogyanya memiliki penataan ruang yang memungkinkan posisi ruang privat terlindung dari kebisingan. Layout 'L' meminimalkan perambatan kebisingan, demikian pula peletakan pintu dan lubang ventilasi ditempatkan tidak langsung menghadap sumber kebisingan (a). Layout sederhana depan-belakang yang tetap memungkinkan perlindungan ruang privat di dalam rumah dengan penciptaan ruang terbuka di tengahnya merupakan solusi yang memadai (b).

untuk mengurangi kemungkinan munculnya kebisingan dari percakapan pengunjung, dapat ditempuh siasat dengan menciptakan koridor dengan luasan yang cukup namun tidak memungkinkan orang dengan nyaman berkumpul atau duduk-duduk di koridor.

9.5. Akustika pada Ruang Perpustakaan

Ruang perpustakaan dikenal sebagai ruang yang membutuhkan ketenangan sangat tinggi. Ketika kebisingan dari luar ruangan dapat diatasi dengan sangat baik, sumber kebisingan lain kemungkinan justru muncul dari dalam ruang perpustakaan sendiri, seperti langkah kaki atau percakapan antar pengunjung. Untuk meredam kebisingan semacam ini, bagian dalam dinding, lantai dan plafon ruang perpustakaan perlu dilapis dengan bahan lunak yang mampu menyerap bunyi. Keberadaan kebisingan latar belakang tidak dibutuhkan dalam ruang perpustakaan.

9.6. Akustika pada Rumah Tinggal

Pada rumah tinggal yang umumnya memiliki lahan terbatas, penataan *layout* yang memungkinkan ruang privat, seperti kamar tidur atau ruang belajar, agar cukup jauh dari sumber kebisingan di jalan, seringkali sulit diterapkan. Pada bangunan berbentuk persegi, siasat akustik dapat dilakukan dengan meletakkan kamar tidur pada bagian belakang. Penataan bangunan dengan bentuk 'L' sangat dianjurkan, karena selain memudahkan pembagian area, penataan ini juga meningkatkan kelancaran pertukaran udara. Hal ini dapat terjadi berkat keberadaan area terbuka di bagian tengah, yang memungkinkan semua ruangan memiliki lubang ventilasi ke arah luar.

Soal Latihan

1. Sebutkan prinsip utama pengendalian permasalahan akustik pada bangunan publik!
2. Pemantulan berulang (*flutter echoes* atau *standing waves*) pada koridor atau lorong dapat dikurangi dengan tiga prinsip desain. Sebutkan!
3. Bagaimanakah rancangan ideal bangunan sekolah untuk mengendalikan permasalahan kebisingan?
4. *Layout* bangunan seperti apa yang cocok untuk pengendalian kebisingan rumah tinggal sekaligus memperlancar terjadinya pertukaran udara?

Bab 10

GARIS BESAR AKUSTIKA BANGUNAN UNTUK INDONESIA DAN NEGARA SEJENIS

Pada bagian sebelumnya telah dibahas mengenai perbedaan karakteristik kebisingan di negara berkembang seperti Indonesia, yang sangat berbeda dengan karakteristik kebisingan di negara maju. Perbedaan ini di antaranya disebabkan oleh belum adanya peraturan dan sanksi tegas untuk mengatur pemakaian jalan dan kendaraan bermotor, mayoritas jenis kendaraan bermotor yang digunakan, dan kualitas jalan. Perbedaan karakteristik kebisingan ini seyogyanya melahirkan solusi bangunan yang berbeda dengan bangunan di negara maju. Faktor lain yang akan mempengaruhi rancangan adalah iklim tropis-lembab yang membutuhkan banyak lubang ventilasi untuk ventilasi alami. Kehadiran lubang ventilasi ternyata sangat bertentangan dengan prinsip meminimalkan perambatan kebisingan dari jalan ke dalam bangunan. Konflik kepentingan ini akhirnya menempatkan rancangan bangunan pada sistem kompromi yang mengakomodasi kepentingan ventilasi sekaligus kepentingan menahan kebisingan.

10.1. Karakteristik Kebisingan di Negara Berkembang

Pada bagian ini akan disajikan kembali secara singkat karakteristik kebisingan di negara berkembang. Pembagian area perkotaan yang kurang tegas antara area yang menghasilkan kebisingan serta yang membutuhkan ketenangan, telah mengakibatkan hampir semua area di perkotaan menderita kebisingan yang cukup parah, terutama akibat kebisingan jalan raya. Pada kondisi semacam ini, bangunan yang terletak di tepi jalan seyogyanya mampu menjadi *ear protection* yang melindungi penghuninya.

Rancangan bangunan sebagai *ear protection* dapat berupa rancangan pada bangunan baru atau hendak dibangun yang berada di tepi jalan yang bising. Dapat pula berupa renovasi bangunan karena jalan di depan bangunan yang mulanya cukup tenang, ternyata seiring berlalunya waktu menjadi jalan yang sangat ramai. Perubahan tingkat keramaian jalan ini adalah situasi yang kerap dijumpai di Indonesia. Hal ini terjadi seiring pertumbuhan penggunaan kendaraan bermotor dan pertumbuhan sentra-sentra ekonomi yang bahkan dapat berada di dalam area yang tenang seperti perumahan.

Adapun jenis kendaraan bermotor yang secara dominan menimbulkan kebisingan di kota-kota di Indonesia adalah kendaraan bermotor roda dua, diikuti oleh kendaraan roda empat pribadi. Kebisingan jalan yang mayoritas berasal dari kendaraan bermotor roda dua membawa implikasi pada penyelesaian akustik bangunan yang lebih sederhana dibandingkan bila mayoritas berasal dari kendaraan beroda lebih dari empat dengan kapasitas (cc) mesin besar. Hal ini disebabkan karena kendaraan bermotor roda dua menghasilkan kebisingan pada kelompok yang frekuensi cukup tinggi, sedangkan kendaraan beroda empat atau lebih menghasilkan kebisingan pada kelompok frekuensi rendah (White dan Walker, 1982).

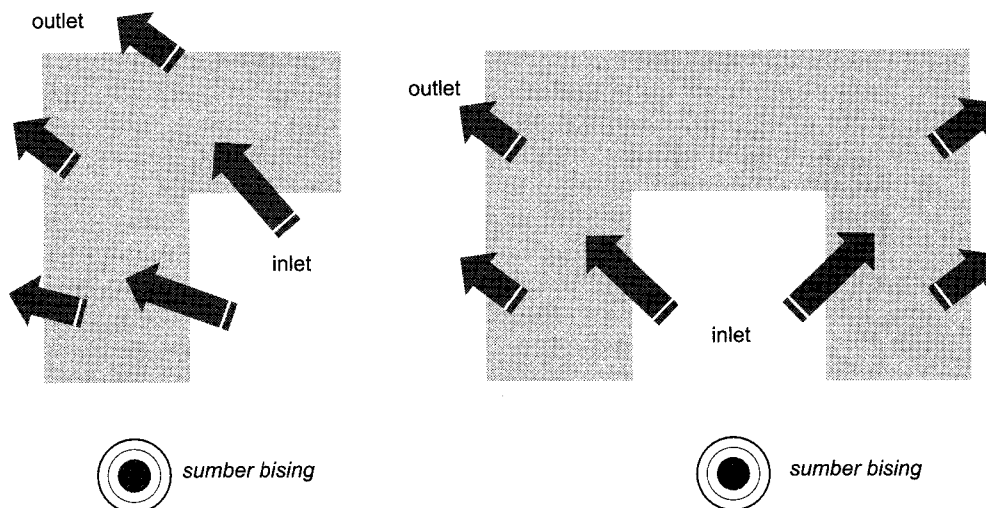
Kembali pada uraian bagian sebelumnya, bahwa bunyi dengan frekuensi tinggi tidak sekuat bunyi berfrekuensi rendah, maka getaran yang menyertai bunyi berfrekuensi tinggi juga tidak terlalu hebat. Oleh karenanya, rancangan bangunan-pun tidak perlu terlalu hebat merespons kebutuhan peredaman getaran. Hal ini berlainan dengan kondisi bangunan di tepi jalan yang mayoritasnya dilalui kendaraan berat, seperti misalnya di tepi jalan lingkaran luar (di negara maju bisa berupa *highway*). Bangunan yang berdiri di sepanjang jalan yang banyak dilalui kendaraan berat, selain perlu didesain untuk menahan masuknya kebisingan, seyogyanya juga didesain untuk menahan berimbangnya getaran yang terjadi di jalan ke dalam bangunan. Berdasarkan kenyataan bahwa bangunan yang menderita kebisingan di Indonesia umumnya berdiri di tepi jalan yang tidak dilalui kendaraan berat, maka solusi akustik bangunan dapat disederhanakan hanya untuk mengatasi kebisingan yang tidak disertai dengan getaran.

10.2. Penyelesaian Kebisingan secara *Outdoor*

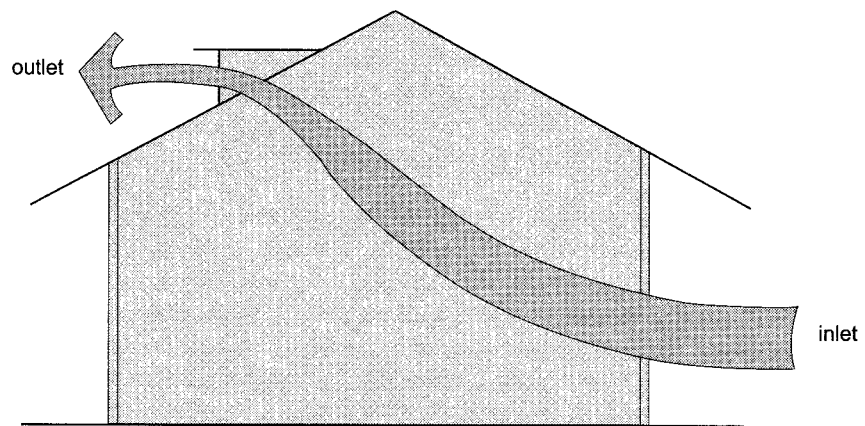
Idealnya, kebisingan diatasi dengan jalan meminimalkan sumbernya, namun dalam prakteknya hal ini tidak mudah untuk dilaksanakan, maka, usaha berikutnya yang dapat kita lakukan adalah mengatur agar perambatannya dibatasi.

Usaha untuk meminimalkan kebisingan dapat dilakukan dengan memperpanjang medium yang dilalui gelombang bunyi agar intensitas bunyi semakin menurun. Hal ini sesuai dengan persamaan (2). Dalam hal desain bangunan, ini dilakukan dengan cara menjauhkan bangunan dari jalan. Pada bangunan yang akan dibangun dengan lahan yang cukup luas, hal ini dapat diterapkan dengan menempatkan bangunan jauh menjorok pada bagian belakang lahan, sehingga terbentuk area terbuka pada bagian depan. Namun pada bangunan yang memiliki luasan lahan terbatas, prinsip ini tidak dapat diterapkan.

Pada bangunan dengan luas lahan terbatas, prinsip desain yang dapat dilakukan untuk mengatasi kebisingan adalah dengan memilih *layout* bangunan yang tepat serta memisahkan area ruang-ruang yang memerlukan ketenangan dari ruang-ruang yang masih mungkin terkena kebisingan dari jalan. Untuk bangunan publik, dapat memilih *layout* U (Gambar 10.1), sedangkan untuk bangunan privat dengan luasan tidak terlampaui besar, kita dapat memilih *layout* "L" (Gambar 10.1). Dengan *layout* ini, posisi terlindung (bagian dalam) dapat digunakan untuk ruang-ruang yang membutuhkan ketenangan sehingga tidak secara langsung berhubungan dengan kebisingan di jalan raya. Pada bangunan yang berfungsi sebagai rumah sakit, area terlindung dapat difungsikan sebagai bangsal



Gambar 10.1. Peletakan lubang inlet dan outlet yang sengaja tidak dihadapkan langsung pada sumber kebisingan



Gambar 10.2. Ketika peletakan outlet tidak mungkin berada pada sisi dinding yang berhadapan, kita dapat menggantikannya dengan model bukaan pada atap

perawatan (unit rawat inap) sedangkan area yang langsung berhubungan dengan jalan dapat dipergunakan sebagai ruang poliklinik, apotik, kantin, dan ruang-ruang lain yang masih bisa menerima kebisingan. Pada bangunan yang berfungsi sebagai perkantoran atau sekolah, area yang terlindung difungsikan sebagai ruang kantor atau ruang kelas, sedang area yang berhubungan langsung dengan kebisingan digunakan sebagai *hall*, ruang tunggu, kantin, dan ruang-ruang lain yang tidak sepenuhnya membutuhkan ketenangan. Bila keterbatasan lahan bahkan tidak memungkinkan pemilihan *layout* tertentu, prinsip yang dapat dijadikan acuan adalah meletakkan ruang-ruang yang membutuhkan ketenangan pada area yang terlindungi.

Bila tingkat kebisingan di jalan telah sedemikian tingginya, sehingga pemilihan *layout* tertentu dan penempatan area tenang di bagian terlindung dirasa belum mencukupi, maka strategi selanjutnya adalah peletakan objek yang dapat menghalangi perambatan gelombang bunyi dari jalan menuju lahan bangunan. Objek ini berupa *sound barrier*, dengan memperhatikan peletakan, dimensi, dan material yang semaksimal mungkin mengikuti persyaratan ideal sebuah *sound barrier* (telah dibahas pada Bab 5). Oleh karena mayoritas kendaraan yang melalui jalan-jalan di Indonesia mengeluarkan spektrum kebisingan dalam kelompok frekuensi tinggi, maka dimensi *barrier* cukup dibuat untuk mengakomodasi kepentingan suara berfrekuensi tinggi. Hal ini memberikan keuntungan, karena hanya dibutuhkan *barrier* yang tidak terlalu tinggi, sehingga akan memperlancar aliran udara untuk ventilasi alamiah.

Sebagaimana telah diuraikan pada pembahasan mengenai *sound barrier*, selain dimensi dan material *barrier*, faktor lain yang perlu mendapat perhatian adalah posisi atau peletakan *barrier*. Idealnya, *barrier* ditempatkan sedekat mungkin dengan sumber kebisingan agar bunyi yang terdifraksi pada ujung atas *barrier* tidak masuk ke dalam bangunan. Jika penempatan semacam ini tidak memungkinkan, maka peletakan berikutnya adalah sedekat mungkin dengan bangunan. Pada penempatan semacam ini, diperlukan *barrier* dengan dimensi yang cukup besar dan dengan ketinggian melebihi yang dinding bangunan, agar bangunan berada dalam zona bayangan sehingga terlindung dari kebisingan. Hindari meletakkan *barrier* persis di tengah-tengah, antara sumber kebisingan dengan dinding depan bangunan (sumber kebisingan diukur dari garis tengah jalan). Pada penempatan semacam ini, meski kita telah menggunakan dimensi dan material yang tepat, efek positif kehadiran *barrier* tidak akan muncul.

Dengan situasi jalan-jalan di Indonesia yang umumnya tidak terlalu lebar dan luas lahan bangunan yang terbatas, maka penempatan *barrier* seyogyanya dipilih sedekat mungkin pada bangunan, meski konsekuensinya dibutuhkan *barrier* yang cukup tinggi agar dinding bangunan terlindung dari kebisingan. Pada peletakan semacam ini, area terbuka yang tersisa pada lahan dapat diletakkan pada bagian tengah atau belakang bangunan. Untuk menentukan peletakan *barrier* semacam apa yang

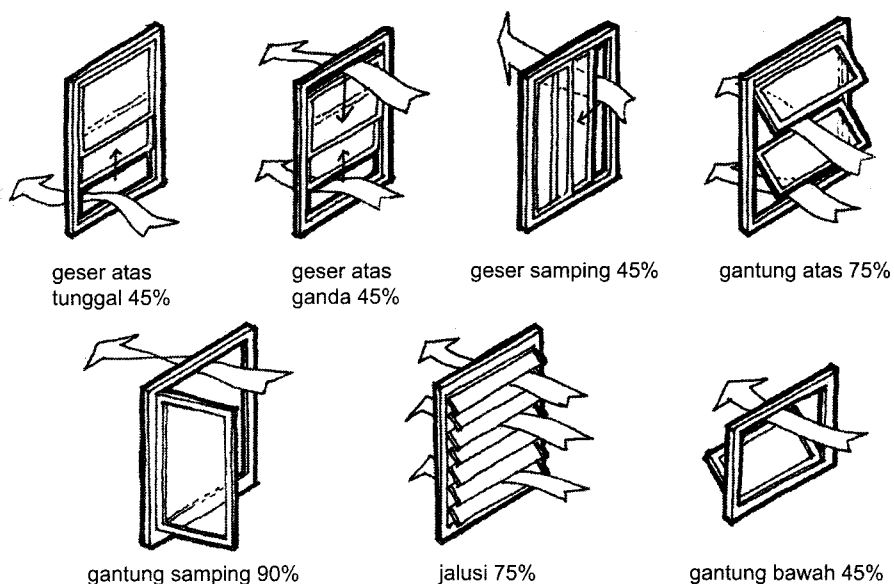
akan digunakan, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengukur lebar jalan di depan bangunan, sehingga kita dapat menentukan letak sumber kebisingan dari jalan. Selanjutnya perhatikanlah luasan lahan dan luas lantai dasar bangunan yang akan dibangun. Usahakan agar ada sisa area terbuka yang cukup untuk meletakkan *barrier* lebih dekat ke sumber daripada ke dinding bangunan, bila diperkirakan hal ini tidak memungkinkan, maka tata letak bangunan mesti segera diubah agar *barrier* berada lebih dekat ke bangunan.

Prinsip selanjutnya yang dapat diterapkan untuk menahan masuknya kebisingan namun tetap memungkinkan terjadinya aliran udara, adalah meletakkan lubang ventilasi pada sisi bangunan agar tidak langsung menghadap ke arah jalan. Pada sisi yang langsung menghadap jalan dapat diletakkan elemen transparan untuk kepentingan pandangan, tetapi tidak untuk lubang ventilasi. Namun demikian, kita tetap harus memperhatikan arah angin datang, agar posisi lubang ventilasi yang akan berfungsi sebagai *inlet* (lubang yang memasukkan udara) menghadap ke arah angin datang, sedangkan yang berfungsi sebagai *outlet* (mengeluarkan udara) diletakkan pada sisi yang berseberangan. Bila hal ini tidak dapat diterapkan, *outlet* dapat diletakkan pada atap (melalui plafon).

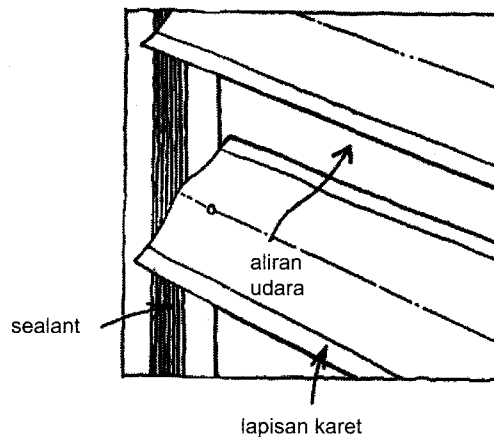
10.3. Penyelesaian Kebisingan pada Selubung Bangunan

Pada keadaan tertentu di mana solusi akustik secara *outdoor* tidak dapat diterapkan secara maksimal, langkah selanjutnya yang dapat kita tempuh adalah mengolah selubung bangunan itu sendiri. Hal ini dilakukan dengan meletakkan lubang ventilasi pada posisi yang tidak menghadap langsung pada sumber kebisingan, serta memilih model jendela yang mampu meminimalkan masuknya kebisingan ke dalam bangunan. Adapun model jendela yang meminimalkan masuknya kebisingan adalah jendela yang mampu memantulkan gelombang bunyi yang jatuh padanya, misalnya model gantung atas (*top-hung*) (Gambar 10.3), juga model jendela yang sengaja dibuat dari bahan yang mampu menyerap bunyi yang jatuh pada permukaannya, misalnya model jalusi (*jalousie* atau *louvre*) yang dilapisi bahan lunak pada sirip bagian dalam (Gambar 10.4). Secara persentase aliran udara, jendela jalusi ternyata cukup baik dalam mengalirkan udara, yaitu berkemampuan 75%.

Namun demikian, selain persentase aliran udara, peletakan jendela *inlet* dan *outlet* juga merupakan faktor yang penting dalam menciptakan sistem ventilasi silang (*cross-ventilation*). Ventilasi silang



Gambar 10.3. Beberapa model jendela dengan persentase udara yang mampu dialirkan ketika menggunakan jendela tersebut (Moore, 1993)



Gambar 10.4. Model jendela jalusi yang terbuat atau dilapisi bahan tertentu untuk menyerap bunyi yang jatuh pada permukaannya

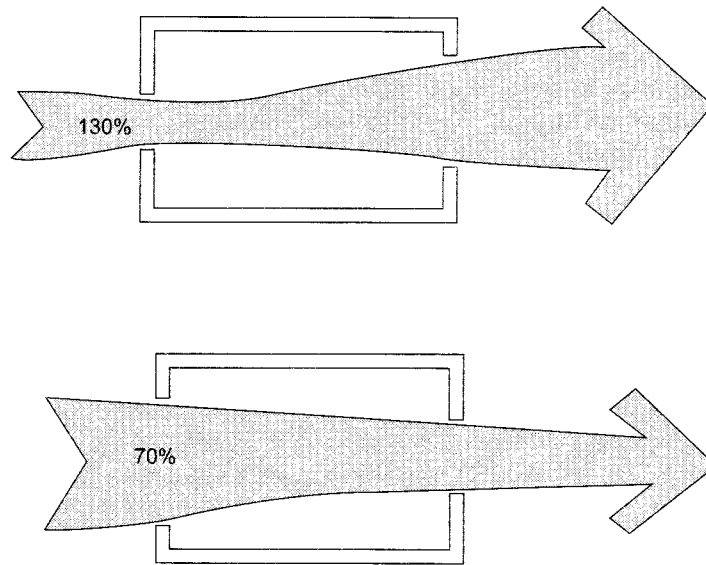
adalah sistem ventilasi yang menggunakan *inlet* dan *outlet* saling berhadapan, sehingga aliran udara di dalam bangunan menjadi sangat baik. Peletakan *inlet* yang tidak menghadap langsung pada sumber kebisingan juga akan menyebabkan *outlet* terletak pada arah yang tidak langsung menghadap pada sumber kebisingan, sehingga persyaratan secara ventilasi maupun akustik dapat terpenuhi.

Adapun kekurangan peletakan *inlet* yang tidak langsung menghadap ke arah jalan, adalah terjadinya penurunan kecepatan udara saat memasuki bangunan. Untuk meniasati hal ini, dapat memakai sistem ventilasi yang menggunakan *inlet* yang lebih kecil daripada *outlet* untuk meningkatkan kecepatan udara pada saat memasuki bangunan (Lechner, 1991) (Gambar 10.5). Pemakaian *inlet* yang lebih kecil, itu selain ditempuh dengan menggunakan jendela yang dimensinya lebih kecil, juga dapat dilakukan dengan memakai dimensi jendela yang hampir sama besar, namun memiliki persentase alir yang lebih kecil.

Selanjutnya, agar dinding yang dikombinasikan dengan lubang ventilasi tetap memiliki tingkat insulasi yang tinggi sesuai dengan kebutuhan, perlu kiranya kita hitung perkiraan tingkat insulasi kombinasi dinding tersebut dengan menggunakan metode yang telah diuraikan pada Bab 4.

10.4. Penyelesaian Rancangan secara Indoor

Bila rancangan akustik secara *outdoor* dan pada selubung bangunan lebih ditujukan untuk meminimalkan masuknya kebisingan dari luar ke dalam bangunan, maka rancangan secara indoor lebih ditujukan untuk meningkatkan kualitas bunyi di dalam ruang. Pada bangunan dengan persyaratan rancangan akustik yang tinggi, seperti auditorium dan studio, setelah permasalahan kebisingan dapat diatasi diperlukan rancangan lanjutan untuk meningkatkan kualitas bunyi di dalam ruang. Rancangan lanjutan yang diperlukan dapat berupa pelapisan bagian dalam elemen ruangan agar dapat berfungsi untuk memantulkan bunyi, untuk menyerap, atau sekaligus keduanya. Pada ruang auditorium, umumnya dibutuhkan pemantulan dalam wujud *reverberation* sehingga beberapa bagian elemen ruang perlu dilapisi dengan material yang memantulkan bunyi. Sementara itu, pada ruang studio, agar bunyi yang dihasilkan tetap murni, umumnya tidak dibutuhkan pemantulan, sehingga elemen ruangnya dilapisi dengan material yang menyerap bunyi. Pengaturan kualitas bunyi di dalam studio ditempuh dengan menggunakan peralatan elektronik seperti meja kontrol (meja *mixer*). Sementara itu pada bangunan umum yang tidak membutuhkan rancangan akustik secara khusus, rancangan akustik secara *indoor* jarang diperlukan. Umumnya rancangan akustik *indoor* hanya diperlukan pada lorong atau selasar agar tidak terjadi pemantulan berulang (*flutter-echoes* atau *standing-waves*). Keadaan ini dapat diatasi dengan melapisi material menyerap atau material yang bersifat *diffus* pada permukaan lorong. Solusi lainnya adalah dengan menciptakan kemiringan tertentu pada dinding lorong, agar tidak benar-benar paralel.



Gambar 10.5. Inlet yang lebih kecil daripada outlet akan meningkatkan kecepatan udara saat memasuki ruangan sampai 130% dari kecepatan udara luar. Sedangkan inlet yang lebih besar daripada outlet justru akan menurunkan kecepatan udara menjadi 70% saja dari kecepatan udara luar (Lechner, 1991)

10.5. Hasil Akhir

Ketika tingkat kebisingan di jalan raya telah diukur dengan menggunakan metode pengukuran yang benar, selanjutnya dapat kita perkirakan rancangan akustik yang diperlukan untuk memenuhi baku kebisingan di dalam bangunan sesuai fungsinya. Sebagai contoh, saat kebisingan di jalan raya terukur sampai tingkat 80 dBA, dan di tepinya berdiri rumah tinggal dengan baku kebisingan 45 dBA (Tabel 2.4), maka rancangan akustik bangunan harus mampu menurunkan kebisingan sampai 35 dBA. Ketika keseluruhan dinding bangunan terbuat dari batu-bata berplester tanpa lubang ventilasi, maka dengan sendirinya tingkat kebisingan di dalam bangunan sudah memenuhi standar, sebab material ini memiliki tingkat insulasi sampai 45 dB (sekitar 40 dBA) (Tabel 5.6). Ketika pada dinding ditambahkan lubang ventilasi, maka tingkat insulasinya akan turun, sesuai luasan lubang ventilasi tersebut. Jika tingkat insulasi kombinasi masih bernilai 35 dBA, permasalahan kebisingan telah teratasi. Namun bila masih di bawah 35 dBA, ambil contoh 20 dBA sedangkan jarak antara bangunan dengan jalan begitu dekat, sehingga hampir tidak terjadi reduksi kebisingan karena pengaruh jarak, maka peletakan *barrier* adalah alternatif yang baik. Umumnya sebuah *barrier* yang tidak terlalu tinggi hanya mampu mengurangi kebisingan sekitar 10 dBA. Secara teoritis, *barrier* yang terbaik sekalipun hanya mampu mengurangi kebisingan maksimal 23 dBA (menurut bagan pada Gambar 5.14). Pada contoh kasus ini, reduksi kebisingan bangunan baru mencapai 20 dBA (jendela) + 10 dBA (*barrier*) = 30 dBA, sehingga masih dibutuhkan insulasi sebanyak 5 dBA. Kekurangan ini dapat diatasi misalnya dengan menaikkan ketinggian *barrier* atau memperkecil dimensi jendela, sehingga nilai total reduksi menjadi 35 dBA.

Soal Latihan

1. Mengapa pengendalian kebisingan bangunan di tepi jalan pada negara berkembang seperti Indonesia lebih sederhana daripada di negara maju?
2. Hal-hal apakah yang dapat ditempuh untuk mengendalikan permasalahan kebisingan pada bangunan di Indonesia dengan sistem akustika luar ruangan?
3. Hal-hal apakah yang dapat ditempuh untuk mengendalikan permasalahan kebisingan pada bangunan di Indonesia dengan sistem akustika pada ruangan dan dalam ruangan?
4. Sebuah *sound barrier* yang terbaik sekalipun seringkali tidak mampu secara tunggal mengatasi permasalahan kebisingan. Berapa dBA-kan kemampuan maksimal sebuah *sound barrier* dalam menahan kebisingan?

Bab 11

SISTEM PERKUATAN DAN PERBAIKAN KUALITAS BUNYI SECARA BUATAN

Sistem perkuatan (*sound reinforcing system*) dan perbaikan kualitas bunyi secara buatan (*artifisial*) adalah pengolahan gelombang bunyi dengan bantuan peralatan elektronik untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam percakapan sehari-hari, peralatan elektronik yang digunakan disebut *sound system*. Berdasarkan tujuannya, penggunaan *sound system* dapat dibedakan menjadi:

1. Untuk memperkuat bunyi agar dapat didistribusikan kepada lebih banyak khalayak dalam tingkat kekerasan (*kejelasan*) yang mencukupi. Keadaan ini biasanya diterapkan dalam ruang auditorium yang besar.
2. Untuk memperbaiki kualitas bunyi. Keadaan ini diterapkan dalam studio untuk memperoleh hasil rekaman yang berkualitas terbaik, seperti bunyi yang jernih dan mantap.
3. Untuk memperkuat bunyi sekaligus memperbaiki kualitas bunyi. Selain bertujuan untuk mendistribusikan bunyi pada lebih banyak khalayak, diharapkan bunyi yang didistribusikan juga memiliki kualitas yang lebih baik. Keadaan ini biasanya diterapkan dalam model penyajian langsung (bukan rekaman), meskipun pada akhirnya kualitas bunyi yang dihasilkan tetap tidak sebaik pada saat dikerjakan di studio.

Pedoman umum yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan apakah suatu ruangan dengan banyak pemakai membutuhkan sistem perkuatan bunyi buatan adalah sebagai berikut:

- Keadaan akustik alamiah ruangan sudah sangat baik, yaitu ruangan telah memiliki tingkat *reverberation* yang cukup untuk menyebarkan bunyi pada pemakai dalam jumlah tertentu, dalam hal ini penggunaan perkuatan bunyi buatan tidak diperlukan. Penggunaan perkuatan bunyi buatan pada ruang semacam ini justru akan menurunkan kualitas akustik ruang tersebut, sebab sangat dimungkinkan bunyi hasil *reverberation* tumpang tindih dengan bunyi perkerasan buatan.
- Auditorium dengan tempat duduk di bawah 500 kursi dengan penyelesaian akustik alamiah yang baik umumnya tidak memerlukan perkuatan bunyi buatan
- Auditorium dengan tempat duduk 500-1000 kursi mungkin saja memerlukan perkuatan bunyi buatan, tergantung pada kualitas akustik alamiah pada ruangan tersebut.
- Auditorium dengan tempat duduk di atas 1000 kursi umumnya memerlukan perkuatan bunyi buatan, sebab akustik alamiah tidak dapat memberikan kualitas bunyi yang baik pada jumlah penonton lebih dari 1000 kursi.

11.1. Mikrofon

Mikrofon adalah peralatan pertama dari keseluruhan rangkaian peralatan perkuatan bunyi. Selain untuk tujuan perkuatan bunyi, mikrofon juga merupakan peralatan pertama dari rangkaian peralatan untuk merekam bunyi. Kualitas bunyi yang akan diterima oleh mikrofon bergantung pada kualitas bunyi sumber dan kualitas mikrofon. Adapun kualitas mikrofon sendiri bergantung pada beberapa hal, di antaranya model/bentuk, kepekaan, dan teknik atau cara peletakan. Saat ini kita dapat menjumpai mikrofon dalam berbagai model dengan berbagai merek. Namun demikian, secara garis besar, jenis mikrofon hanya dibedakan menjadi tiga, yaitu:

Dynamic microphone

Adalah mikrofon dengan sinyal elektrik yang diproduksi oleh pergerakan konduktor dalam suatu medan magnet. Konduktor yang dipakai adalah kumparan. Mikrofon jenis ini cocok dipakai di luar ruangan atau untuk pertunjukan 'live' yang menggunakan banyak gerakan, karena sifatnya yang tahan terhadap benturan dan perubahan suhu serta tekanan udara.

Ribbon microphone

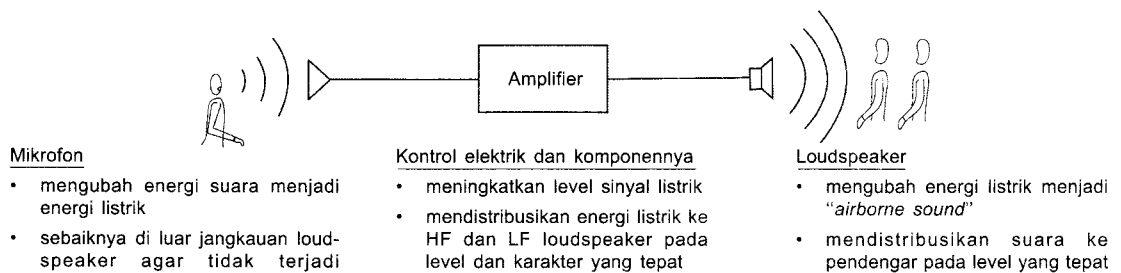
Adalah mikrofon yang cara kerjanya sama dengan *dynamic microphones*, yaitu menggunakan medan magnet, hanya saja konduktornya bukan kumparan melainkan pita metal yang sangat tipis, dengan ukuran ketebalan sekitar 2 mikronmeter ($2\ \mu\text{m}$). Mikrofon ini memiliki kepekaan yang lebih baik bila dibandingkan *dynamic microphones*, tetapi lebih mudah rusak karena konstruksi pita metalnya sangat tipis.

Condenser microphone

Adalah mikrofon yang bekerja dengan menggunakan dua kapasitor berbentuk piringan. Satu piringan pada posisi statis, dan satunya lagi bergerak dan berfungsi sebagai diafragma. Mikrofon jenis ini sangat mudah rusak sehingga lebih cocok digunakan di dalam ruangan. Beberapa jenis mikrofon yang masuk dalam kategori *condenser microphone* ini adalah: *valve microphone*, *electric microphone* dan *pressure zone microphone*.

Kepekaan mikrofon ditentukan oleh kemampuan mikrofon menangkap bunyi yang datang dari arah tertentu. Ada mikrofon yang bisa menangkap bunyi dari segala arah, tetapi tingkat kepekaannya lemah (bunyi yang masuk kurang jelas/kurang jernih). Ada juga mikrofon yang hanya bisa menerima bunyi dari satu arah tertentu saja, namun tingkat kepekaannya tinggi (bunyi yang masuk sangat jernih dan jelas, meskipun berasal dari sumber bunyi yang tidak terlalu keras). Bunyi yang terletak langsung di depan mikrofon (0°) disebut suara *on axis*, sedang bunyi yang arahnya $90^\circ - 270^\circ$ dari mikrofon disebut bunyi *off axis*. Pada pemakaian mikrofon yang peka terhadap bunyi *off axis*, seyogyanya diperhatikan kemungkinan masuknya bunyi pantulan dari elemen pembatas yang memantul, yang menumpuki bunyi asli, yang dapat mengakibatkan ketidakjelasan bunyi.

Secara umum, prinsip kerja peralatan *sound system* diilustrasikan pada Gambar 11.1.

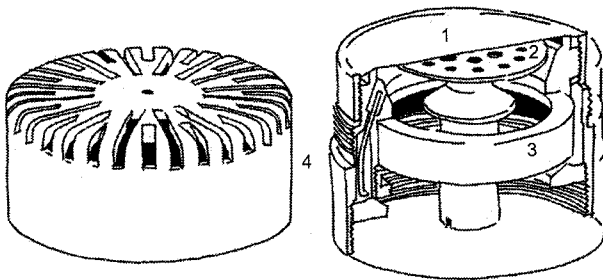


Gambar 11.1. Prinsip kerja Sound Reinforcing System.

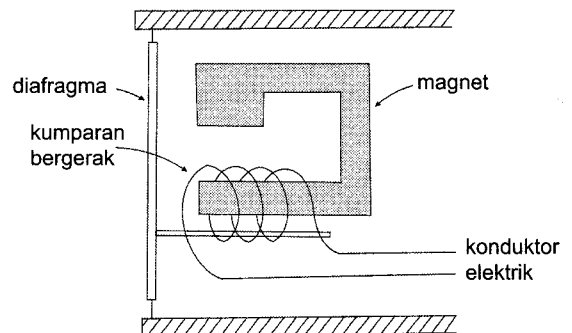
Alat-alat kelengkapan mikrofon:

Agar dapat berfungsi secara baik, mikrofon seyogyanya dilengkapi dengan:

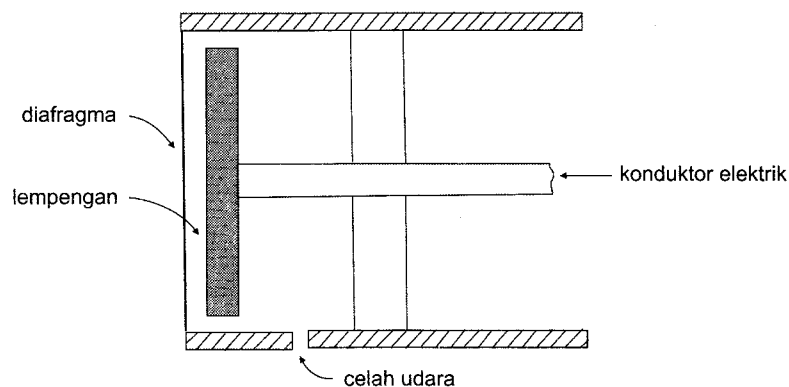
- *Windscreen*, yaitu objek seperti membran (dari bahan tipis lunak) yang dipasang langsung di depan mikrofon, berada antara sumber bunyi dengan mikrofon. Alat ini bermanfaat untuk mengurangi tekanan nafas manusia yang akan diterima mikrofon. *Windscreen* juga bermanfaat mengurangi *popping* (bunyi "bek-bek") pada saat pengucapan konsonan p, b, dan k. Alat ini juga melindungi mikrofon dari kelembaban (misalnya ludah manusia) terutama pada *condenser microphones* yang sangat rentan terhadap kelembaban, dan dari debu. *Windscreen* umumnya terbuat dari *foam* dengan pori-pori besar atau kawat melingkar yang bagian tengahnya diisi kain *nylon*.
- Efek *proximity* adalah kemampuan mikrofon untuk meningkatkan kualitas suara manusia menjadi lebih berat/mantap, yaitu berupa alat yang dipasang pada mikrofon untuk meningkatkan respons *bass*. Dengan peralatan ini, jenis suara yang terlalu kurus/kering (Jawa: *cempren*) dapat diperbaiki. Efek *proximity* akan menguat saat suara mendekati mikrofon dan melemah saat suara menjauhi mikrofon.
- Peredam getaran adalah objek dari bahan lunak (karet atau spons) yang dipasang pada *stand* atau penyangga tempat mikrofon diletakkan. Penambahan objek ini bermanfaat untuk mengurangi imbas getaran dan kebisingan yang tidak dikehendaki. Peredam ini perlu ditempatkan terutama pada mikrofon-mikrofon yang sangat peka.



Gambar 11.2. Bagian-bagian penting pada mikrofon: (1) diafragma, (2) lempeng logam, (3) isolator (biasanya dari bahan mika), dan (4) lubang ventilasi pengatur tekanan.



Gambar 11.3. Skema dari dynamic microphone



Gambar 11.4. Skema dari condenser microphone

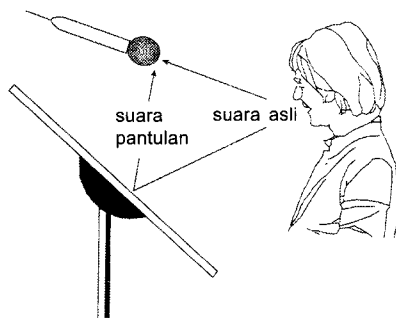
Teknik peletakan mikrofon

Mikrofon dapat diletakkan sesuai posisi yang dikehendaki. Namun untuk menghindari terjadinya *feedback* (peristiwa masuknya kembali bunyi dari *speaker* ke dalam mikrofon), sebaiknya mikrofon tidak terletak pada jangkauan distribusi *speaker*. Menurut mobilitasnya, peletakan mikrofon dibedakan menjadi:

- *Peletakan statis* yaitu sistem peletakan yang tidak mudah dijangkau manusia, sehingga tidak mudah diubah-ubah posisinya, misalnya peletakan dengan digantung pada plafon. Pemasangan seperti ini biasanya dipakai pada penampilan dengan banyak penyaji seperti koor atau ketoprak.
- *Peletakan semistatis* adalah sistem peletakan mikrofon dengan menggunakan penyangga (*stand*). Pada peletakan ini, letak mikrofon cukup stabil, namun masih dapat dipindah-pindahkan, karena berada setingkat dengan ketinggian manusia. *Stand* mikrofon dapat berupa *stand* untuk penyaji berdiri dan untuk penyaji duduk (di atas meja).
- *Peletakan secara dinamis* adalah sistem peletakan mikrofon yang bisa dipindah atau dibawa menurut kebutuhan. Umumnya untuk mengantisipasi jarak, dipakai jenis mikrofon tanpa kabel (*wireless*) atau mikrofon kecil yang dijepitkan pada leher baju (*handsfree microphone*).

Masing-masing peletakan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan untuk disesuaikan dengan aktivitas yang dilakukan, sehingga kekurangan model peletakan yang dipilih dapat diminimalkan.

Peletakan mikrofon juga dapat dibedakan sesuai dengan kualitas bunyi yang ingin dihasilkan, yaitu kualitas *mono* atau *stereo*. Teknik peletakan ini, selain untuk peletakan langsung (sajian langsung) juga banyak diterapkan pada kegiatan di dalam studio. Untuk mendapatkan hasil *mono*, kita hanya perlu meletakkan satu mikrofon pada posisi langsung menghadap sumber bunyi, sedangkan untuk mendapatkan hasil *stereo*, peletakannya diatur sebagai berikut:

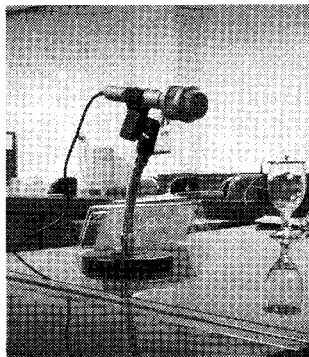


Gambar 11.5. Pemakaian meja mimbar untuk meletakkan teks dapat menimbulkan suara pantul yang membaaurkan suara asli.



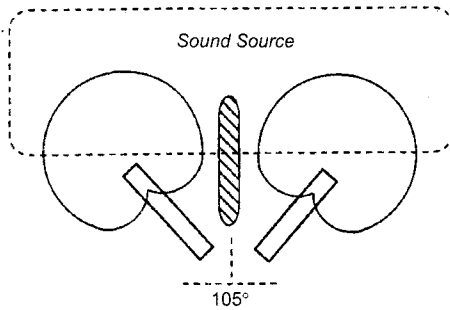
Dok. Mediastika

Gambar 11.6. Windscreen yang diletakkan antara mikrofon dan penyanyi berfungsi untuk meningkatkan kualitas suara yang dihasilkan



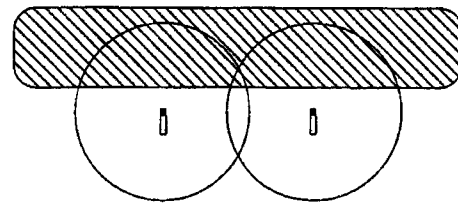
Dok. Mediastika

Gambar 11.7. Mikrofon dengan stand pendek/rendah untuk diletakkan di atas meja.



Catatan: Di antara mikrofon diletakkan bahan/objek penyerap.

Gambar 11.8. Peletakan mikrofon secara near coincident (seperti 'XY') (Misner, 1994).



Catatan: Area yang diarsir adalah posisi sumber bunyi. Mikrofon diletakkan berjajar dengan sudut 180°.

Gambar 11.9. Peletakan mikrofon secara 'AB' (Misner, 1994).

- **Peletakan XY (coincident pair).** Teknik peletakan XY sangat cocok untuk menangkap bunyi yang berasal dari banyak sumber dan berasal dari berbagai jenis sumber, misalnya pada sajian koor atau musik orkestra. Pada peletakan ini, umumnya digunakan dua buah mikrofon dengan jenis *condenser* yang peka terhadap bunyi *off-axis* yang diletakkan dalam posisi membentuk sudut 90°. Posisi penyudutan dapat dilakukan secara vertikal maupun horisontal, artinya dua buah mikrofon dalam posisi horisontal saling membentuk sudut 90° atau dua-duanya dalam posisi vertikal.
- **Peletakan near coincident pair.** Pada peletakan ini, teknik dan jenis mikrofon yang digunakan sama dengan peletakan XY, namun sudut yang digunakan adalah 105°. Pada peletakan semacam ini, efek *stereo* yang dihasilkan dari bunyi yang ditangkap mikrofon akan lebih nyata.
- **Peletakan AB (sejajar).** Pada peletakan ini juga sangat dianjurkan untuk menggunakan dua jenis mikrofon *condenser* yang peka terhadap bunyi *off-axis*, yang diletakkan secara paralel atau berjajar dengan sudut 180° pada jarak sekitar 1,5 meter. Peletakan ini cocok untuk sajian *live* pada jenis musik *rock* atau *pop* yang tidak menyajikan permainan instrumen terlalu detil. Sebaliknya peletakan ini tidak cocok untuk sajian koor atau musik klasik yang umumnya menyajikan permainan alat musik secara mendetil. Jarak penempatan 1,5 meter seringkali dianggap cukup jauh sehingga terdapat area di antara dua mikrofon yang tidak tertangkap sebagai *input*. Pada keadaan ini perlu diletakkan *support* mikrofon yang diletakkan di antara dua mikrofon utama.

11.2. Amplifier dan Equalizer

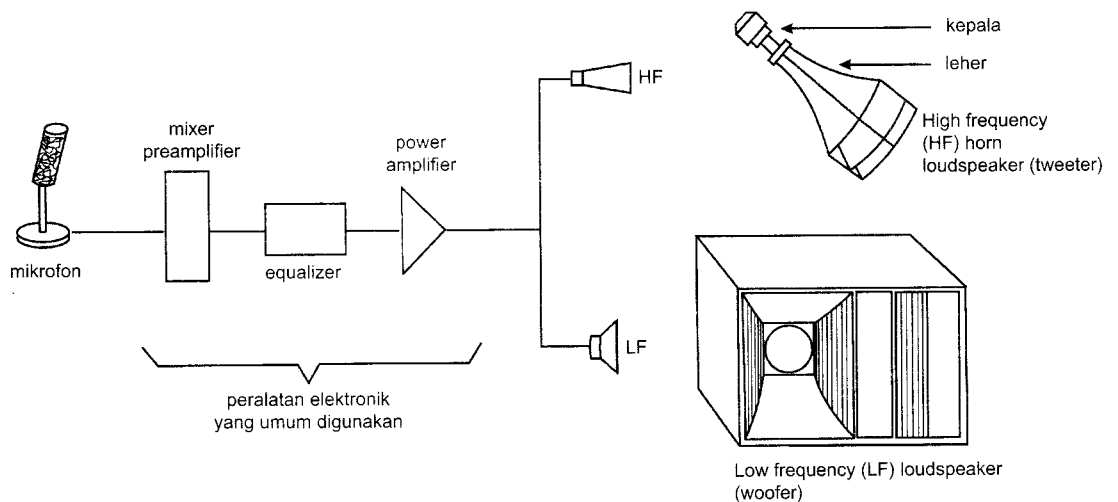
Dalam proses perkuatan bunyi, *amplifier* adalah perangkat yang ditempatkan setelah mikrofon. Alat ini berfungsi untuk memperkuat masukan (*input*) bunyi yang telah ditangkap oleh mikrofon. Pada prakteknya, seringkali tidak hanya diperlukan *amplifier* untuk memperkuat atau mengeraskan bunyi, tetapi juga diperlukan alat untuk mendapatkan kualitas suara yang lebih baik. Proses untuk memperbaiki kualitas bunyi disebut sistem ekualisasi (*equalization*). *Amplifier* sendiri hanya merupakan bagian kecil dari rangkaian sistem ekualisasi.

Perangkat peralatan ekualisasi diperlukan untuk mendapatkan warna bunyi dan keseimbangan harmoni yang tepat. Seringkali kita jumpai bahwa bunyi yang masuk ke dalam mikrofon tidak bersih, kurang jenih, kurang kuat, terlalu '*treble*', terlalu '*nge-bass*', atau terdistribusi kurang merata. Kekurangan-kekurangan ini dapat diperbaiki dengan menggunakan sistem ekualisasi, dengan alat yang disebut *equalizer*. Perangkat ekualisasi memungkinkan operator untuk menghilangkan frekuensi atau kelompok frekuensi tertentu yang menurunkan kualitas bunyi dan meningkatkan frekuensi tertentu yang dapat memantapkan kualitas bunyi. Sebuah rangkaian lengkap yang terdiri dari *mixer pre-amplifier*, *equalizer*, dan *power amplifier* akan memisahkan bunyi dari kelompok frekuensi rendah dan tinggi untuk masuk pada bagian yang berbeda dalam *speaker* (peralatan pada rangkaian terakhir



Dok. Topan Giovani

Gambar 11.10. Suasana ruang operator pada sebuah studio musik dengan meja equalizer



Gambar 11.11. Skematik kerja SRS di mana suara yang dihasilkan dipisahkan masuk dalam *tweeter* dan *woofer* sebelum dikeluarkan

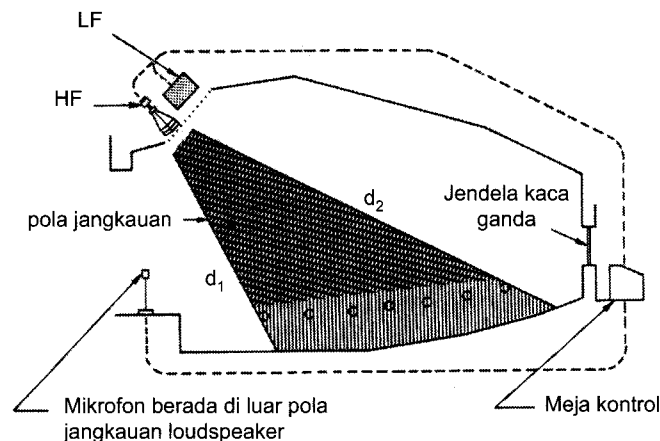
dari sistem perkuatan bunyi). Contoh dari *equalizer* sederhana adalah *tone control* pada *tape* atau radio yang berupa tombol *bass* dan *treble*. Pada kelas yang lebih tinggi, dapat kita jumpai *equalizer* dalam berbagai jenis, model, dan tingkat kemampuan. Untuk memilih jenis dan kemampuan *equalizer* yang tepat, kita perlu mempertimbangkan sampai seberapa detil kualitas bunyi hendak diperbaiki dan ditingkatkan.

11.3. Speaker

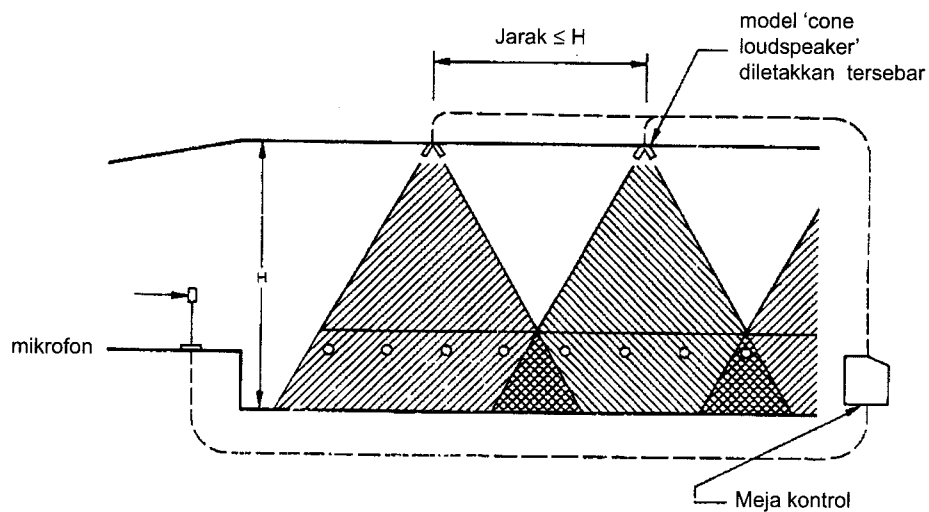
Speaker atau sering pula disebut *loudspeaker* adalah peralatan terakhir dari rangkaian *sound system*. *Speaker* berfungsi untuk menyampaikan hasil bunyi yang telah diolah oleh *amplifier* dan *equalizer*. Sebuah kotak *speaker* terdiri dari dua *speaker*, yaitu yang mengeluarkan hasil olahan bunyi dalam kelompok berfrekuensi tinggi (biasanya disebut *tweeter*) dan yang mengeluarkan hasil olahan bunyi dalam kelompok berfrekuensi rendah (biasanya disebut *woofer*). Bagi penggemar audio, *speaker* yang terdiri dari *tweeter* dan *woofer* saja seringkali dianggap menghasilkan bunyi yang kurang mantap, maka kemudian ditambahkan *speaker* ekstra yang disebut *sub-woofer*, khusus untuk mengeluarkan suara dari kelompok frekuensi sangat rendah.

Peletakan *speaker* terhadap pendengar memberikan pengaruh sangat besar terhadap kualitas bunyi yang akan diterima pendengar. Meski telah digunakan mikrofon dan sistem ekualisasi yang baik, namun apabila peletakan *speaker* tidak tepat, sangat mungkin terjadi kualitas bunyi yang dihasilkan juga tidak terlalu baik. Adapun cara peletakan *speaker* dibedakan menjadi (Egan, 1976):

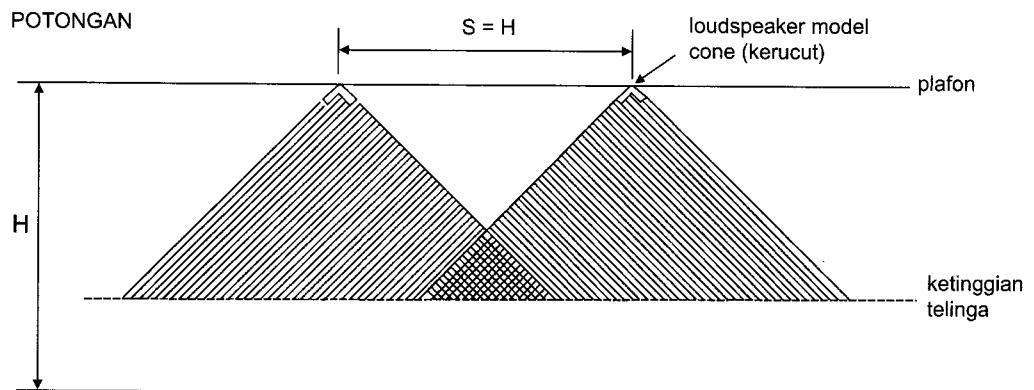
- Peletakan terpusat
Pada peletakan ini ditempatkan satu atau beberapa *speaker* yang saling berdekatan (terkumpul dalam satu titik). *Speaker* atau kumpulan *speaker* ini diletakkan di atas sumber bunyi, namun masih tetap dalam jarak jangkauan pandangan mata pendengar. Dengan penempatan di atas sumber bunyi dan pada posisi dapat terlihat pendengar, maka diharapkan pendengar seolah-olah mendengarkan bunyi asli. Hal ini dimaksudkan agar kesan nyata bagi pendengar dapat terwujud dengan baik. Pada penempatan yang terlalu tinggi, sangat mungkin *speaker* terpusat tidak terlihat oleh pendengar yang duduk di bawah balkon pada sebuah auditorium. Oleh karena itu, posisinya perlu diatur sedemikian rupa agar masih tetap terlihat oleh pendengar di bawah balkon. Peletakan terpusat mensyaratkan tinggi plafon minimum ruangan tersebut 6,5 meter.
- Peletakan menyebar
Pada peletakan ini ditempatkan beberapa *speaker* di atas pendengar, dengan tingkat kekuatan yang lebih lemah dibandingkan dengan *speaker* yang digunakan pada peletakan terpusat. *Speaker* yang terlalu kuat justru tidak diperlukan, karena dengan posisi menyebar sudah terjadi perkuatan bunyi antar *speaker*. Peletakan menyebar dipilih apabila:
 - Ketinggian plafon lebih rendah dari 6,5 meter.
 - Pendengar tidak dapat berada pada jarak pandang *speaker*, misalnya pendengar berada di bawah balkon



Gambar 11.12. Peletakan *speaker* secara terpusat dengan *tweeter* untuk High Frequency (HF) dan *woofer* untuk Low Frequency (LF)

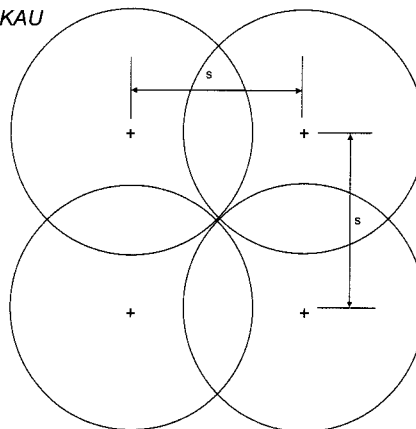


Gambar 11.13. Peletakan speaker secara menyebar (Misner, 1994)



Catatan: Jarak antar loudspeaker (S) idealnya sama dengan ketinggian ruangan (H). Namun demikian, $S = \sqrt{2}H$, adalah jarak yang umum diterapkan untuk mendapatkan pola jangkauan yang seragam.

DENAH DAN POLA JANGKAU



Gambar 11.14. Sistematika peletakan menyebar untuk mendapatkan kualitas bunyi yang baik (Misner, 1994)

Pada peletakan menyebar, harus diupayakan agar pola jangkau masing-masing *speaker* tidak tumpang tindih sehingga tidak ada pendengar yang mendengar bunyi yang berasal lebih dari satu jangkauan *speaker*. Namun demikian, untuk hasil yang baik jarak peletakan sebaiknya lebih kecil atau sama dengan jarak dari plafon ke lantai. Pada auditorium dengan kapasitas penonton yang besar, yang kemungkinan menghasilkan selisih jarak antara bunyi asli dan pantulan lebih dari 15 meter, pada *speaker* perlu disertakan alat yang disebut *time delay*. Alat ini berfungsi menunda keluarnya bunyi dari *speaker*, sehingga penonton dapat mendengar bunyi asli dan keluaran dari *speaker* secara bersamaan. Hal ini akan menghindari munculnya bunyi yang bersahut-sahutan.

- *Monitor speaker*

Pada auditorium yang memiliki panggung, peletakan *speaker* secara terpusat atau menyebar, akan didampingi dengan peletakan monitor *speaker* panggung yang digunakan pemain di panggung untuk mengontrol bunyi yang dikeluarkannya. *Monitor speaker* biasanya diletakkan pada lantai bagian depan panggung, mengarah kepada pemain dengan sudut kemiringan tertentu. Agar tidak menimbulkan *feedback* (bunyi 'nging' yang muncul karena bunyi yang dikeluarkan *speaker* masuk kembali ke mikrofon), biasanya digunakan *speaker* dengan kekuatan input rendah, yaitu antara 100 Watt sampai 200 Watt. Umumnya digunakan dua sampai tiga buah *speaker* bersama-sama. Pada panggung yang sempit dan memiliki plafon cukup rendah dengan lebar yang sempit, monitor *speaker* dapat diletakkan tergantung pada plafon panggung bagian depan menghadap ke arah pemain.

Dalam situasi yang memungkinkan, peletakan *speaker* secara terpusat lebih dianjurkan ketimbang peletakan menyebar, sebab peletakan ini akan membawa pendengar pada suasana yang lebih nyata. Yang perlu diperhatikan saat menggunakan rangkaian *sound system* adalah memeriksa peralatan tersebut sebelum digunakan untuk kegiatan yang sesungguhnya. Pemeriksaan meliputi memastikan peletakan mikrofon berada diluar pola jangkau *speaker*, sehingga bunyi *feedback* yang amat mengganggu jalannya aktivitas dapat dihindari.

Pada penggunaan sistem perkuatan bunyi buatan untuk suara manusia saja (tanpa bunyi tambahan, misalnya: musik), seperti untuk pidato, tidak diperlukan *speaker* ganda yang terdiri dari *tweeter* dan *woofer*. Ini sengaja dimaksudkan untuk alasan penghematan, sebab, suara manusia umumnya tidak berada pada kelompok frekuensi rendah (tidak berada di bawah 63 Hz).

Soal Latihan

1. Kapankah sebuah ruangan membutuhkan sistem perkuatan dan perbaikan kualitas bunyi buatan?
2. Apa saja yang menjadi rangkaian peralatan untuk sistem perkuatan dan perbaikan kualitas bunyi secara buatan?
3. Sebutkan hal-hal yang mempengaruhi kualitas input melalui mikrofon!
4. Jenis peletakan *loud speaker* semacam apa yang ideal untuk ruangan dengan ketinggian plafon mencapai 10 meter?

JAWABAN SOAL LATIHAN

BAB 1

1. Bunyi bersumber dari objek yang bergetar. Getaran ini menyentuh molekul-molekul zat yang ada di sekitar objek, sehingga terjadi perambatan gelombang bunyi. Pada keadaan sehari-hari, medium tersebut berupa udara. Selanjutnya gelombang yang merambat mencapai daun telinga, masuk ke dalam telinga, dan diterima oleh gendang telinga yang kemudian ikut bergetar. Getaran ini dilanjutkan oleh bagian-bagian yang ada di dalam telinga dan diubah dari wujud getaran mekanik menjadi denyut elektrik. Selanjutnya saraf-saraf yang berada pada bagian paling ujung rangkaian indera pendengaran bertugas mengirim berita/denyut elektrik ini ke otak.

2. Diketahui $f = 440 \text{ Hz}$
 $v = 340 \text{ m/det}$
Ditanyakan λ ?

Jawab: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{440} = 0,77 \text{ m}$

3. Diketahui $P = 0,01 \text{ Watt}$
 $r = 8,9 \text{ m}$
Ditanyakan I ?

Jawab: $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{0,01}{4 \cdot 3,14(8,9)^2} = 1 \text{ Watt/m}^2$

4. Diketahui $r_1 = 6 \text{ m}$
 $r_2 = 20 \text{ m}$
 $I_1 = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ Watt/m}^2$

Ditanyakan I_2 ?

Jawab: $I_2 = [I_1 \cdot (r_2)^2] : (r_1)^2$
 $I_2 = 3,06 \cdot 10^{-6} \text{ Watt/m}^2$

BAB 2

1. Diketahui jumlah generator 5, masing-masing mengeluarkan 78 dB
Ditanyakan TB_{tumpukan} ?

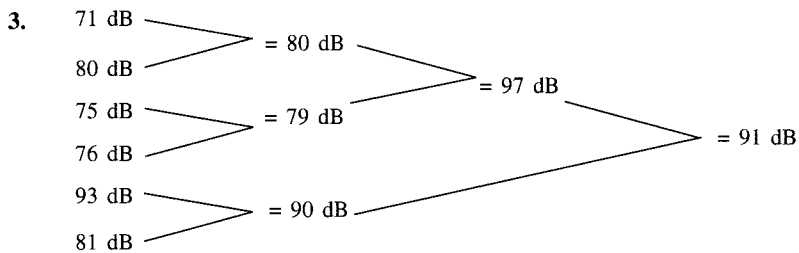
Jawab:

$$\begin{aligned} TB_{\text{tumpukan}} &= TB_{\text{tunggal}} + 10 \log n \\ &= 78 \text{ dB} + 10 \log 5 \\ &= 78 + 10 \cdot 0,7 \\ &= 85 \text{ dB} \end{aligned}$$

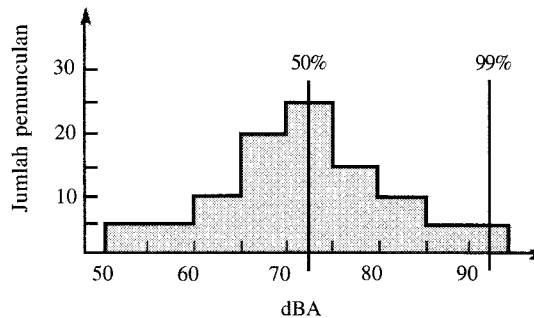
2. Diketahui jumlah genderang 10 buah dan $TB_{\text{tumpukan}} = 79 \text{ dB}$
Ditanyakan TB_{tunggal} ?

Jawab:

$$\begin{aligned} TB_{\text{tunggal}} &= TB_{\text{tumpukan}} - 10 \log n \\ &= 79 \text{ dB} - 10 \log 10 \\ &= 79 - 10 \\ &= 69 \text{ dB} \end{aligned}$$



4.



Luas area dalam histogram adalah: $5(5 + 5 + 10 + 20 + 25 + 15 + 10 + 5 + 5) = 500$

Untuk menentukan L_{eq} perlu dilakukan penghitungan L_1 dan L_{50} .

Untuk menghitung L_{50} , diambil 50% dari data, sebagai berikut:

$$5(5 + 5 + 10 + 20) + 25x = 0,5 (500)$$

$$25x = 50$$

$$x = 2$$

$$L_{50} = 70 \text{ dBA} + 2 \text{ dBA} = 72 \text{ dBA}$$

Untuk menghitung L_1 , diambil 99% dari data, sebagai berikut:

$$5(5 + 5 + 10 + 20 + 25 + 15 + 10 + 5) + 5y = 0,99 (500)$$

$$5y = 50$$

$$y = 4$$

$$L_1 = 90 \text{ dBA} + 4 \text{ dBA} = 94 \text{ dBA}$$

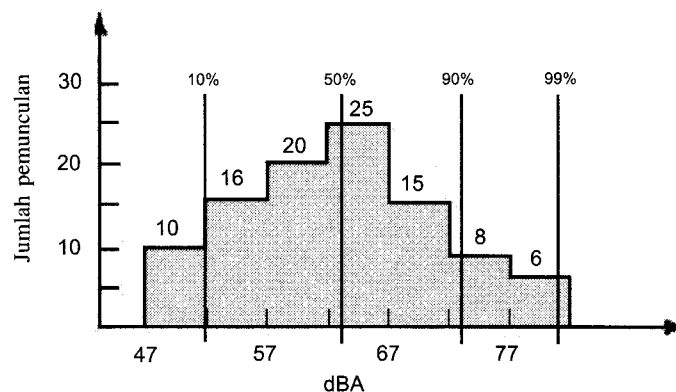
Sehingga

$$L_{eq} = L_{50} + 0,43 (L_1 - L_{50})$$

$$= 72 \text{ dBA} + 0,43 \cdot 22 \text{ dBA}$$

$$= 81,46 \text{ dBA}$$

5.



Luas area dalam histogram adalah: $5(10 + 16 + 20 + 25 + 15 + 8 + 6) = 500$
 $L_{90} = 52 \text{ dB}$ (tepat)

Untuk menghitung L_{50} , diambil 50% dari data, sebagai berikut:

$$5(10+16+20) + 25x = 0,5 (500)$$

$$25x = 20$$

$$x = 0,8$$

$$L_{50} = 62 \text{ dBA} + 0,8 \text{ dBA} = 62,8 \text{ dBA}$$

Untuk menghitung L_{10} , diambil 90% dari data, sebagai berikut:

$$5(10 + 16 + 20 + 25 + 15) + 8y = 0,90 (500)$$

$$8y = 20$$

$$y = 2,5$$

$$L_{10} = 72 \text{ dBA} + 2,5 \text{ dBA} = 72,5 \text{ dBA}$$

Untuk menghitung L_1 , diambil 99% dari data, sebagai berikut:

$$5(10 + 16 + 20 + 25 + 15 + 8) + 6z = 0,99 (500)$$

$$6z = 25$$

$$z = 4,2$$

$$L_1 = 77 \text{ dBA} + 4,2 \text{ dBA} = 81,2 \text{ dBA}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} L_{eq} &= L_{50} + 0,43 (L_1 - L_{50}) \\ &= 62,8 \text{ dBA} + 0,43 \cdot 18,4 \text{ dBA} \\ &= 70,712 \text{ dBA} \end{aligned}$$

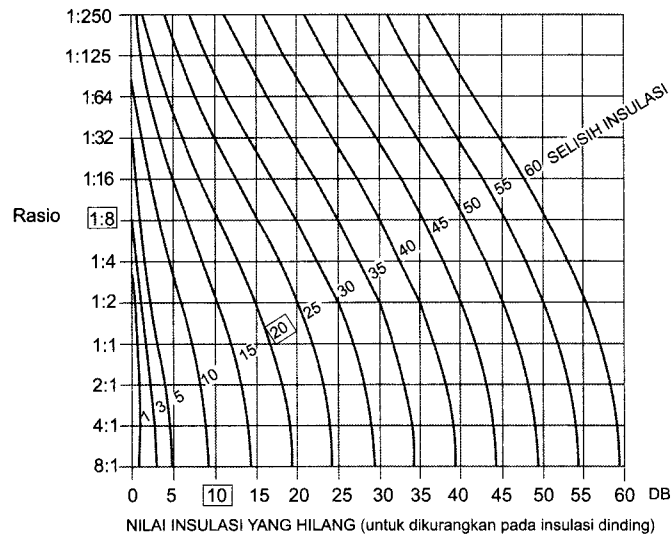
BAB 3

1. Jalan menjadi sumber utama penghasil kebisingan yang memasuki bangunan karena terus meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor, sedangkan keberadaan bangunan tidak dapat dipisahkan dari jalan. Di mana ada bangunan pastilah dijumpai jalan berdekatan dengan bangunan tersebut sebagai akses menuju bangunan. Keadaan ini menyebabkan bangunan di sepanjang tepi jalan sangat potensial menderita kebisingan.
2. Bagian kendaraan bermotor yang menghasilkan kebisingan adalah: mesin, transmisi, rem, klakson, knalpot dan roda yang bergesekan dengan jalan.
3. Peruntukan jalan yang melebihi baku akan meningkatkan kebisingan di jalan karena baku peruntukan umumnya disusun berdasarkan jenis dan kecepatan kendaraan. Sebuah jalan dengan peruntukan x diperkirakan maksimum menghasilkan tingkat kebisingan x' , sedangkan jalan dengan peruntukan y akan menghasilkan tingkat kebisingan maksimum y' . Jika jalan dengan peruntukan x dilalui oleh kendaraan yang semestinya untuk peruntukan y , maka tingkat kebisingan jalan x dapat mencapai y' .
4. Keadaan spesifik jalan yang dapat meningkatkan kebisingan adalah: kemiringan jalan, kualitas permukaan jalan, penggunaan area di sekitar jalan atau sebagian badan jalan untuk aktivitas informal seperti perparkiran dan perdagangan kakilima, jalan untuk penempatan rambu lalu-lintas seperti: lampu lalu-lintas (*traffic-light*), *zebra-cross* atau area perputaran (*u-turn*).
5. Baku maksimum tingkat polusi kebisingan yang masih dapat diterima masyarakat adalah 74 dB.

BAB 4

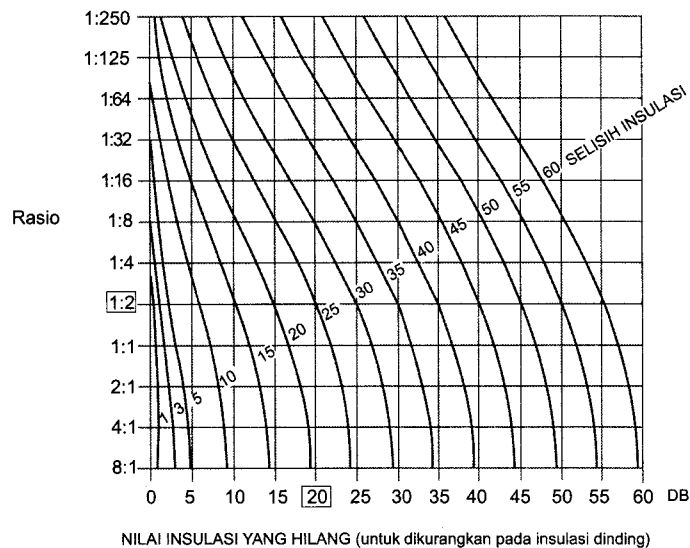
1. Bunyi yang muncul pada struktur bangunan (*impact sound*) akan merambat pada struktur itu sendiri (*structureborne*). Ketika bunyi tersebut memiliki intensitas yang cukup, perambatan secara *structureborne* akan menjadi *airborne* karena struktur tersebut meneruskan bunyi keluar dari struktur, masuk ke udara di sekitarnya, sehingga orang yang dilingkupi oleh udara tersebut akan mendengar *impact sound*. Sementara itu untuk objek yang bergetar di dalam medium udara, dengan sendirinya akan merambat secara *airborne*. Bila kekuatannya cukup, sangat dimungkinkan bunyi akan terus merambat sampai menggetarkan struktur bangunan, seperti misalnya bunyi-bunyi berfrekuensi rendah yang memiliki kemampuan getar hebat, sehingga mampu mengubah perambatan secara *airborne* menjadi *structureborne*.

2. Untuk mengatasi *flanking transmission* dapat ditempuh tatacara: diskontinu struktur.
3. Diketahui rasio luasan 1:8 dan selisih insulasi material $45 \text{ dB} - 25 \text{ dB} = 20 \text{ dB}$
Menurut bagan:



Nilai insulasi yang hilang adalah 10 dB, sehingga nilai insulasi kombinasi adalah $45 \text{ dB} - 10 \text{ dB} = 35 \text{ dB}$

4. Diketahui rasio luasan 1:2 dan insulasi kombinasi 30 dB
Menurut bagan:



Bila insulasi material tebal 50 dB dan insulasi kombinasi 30 dB, maka nilai insulasi yang hilang adalah 20 dB.

Bagan menunjukkan bahwa titik pertemuan antara rasio 1:2 dan insulasi hilang 20 dB adalah pada kurva selisih 25 dB. Oleh karena itu tingkat insulasi material tembus pandang adalah $50 \text{ dB} - 25 \text{ dB} = 25 \text{ dB}$

BAB 5

1. Faktor yang mendukung keberhasilan penghalang atau *barrier* adalah:

- material
- peletakan/posisi
- dimensi/ukuran

2. Diketahui $v = 234 \text{ m/det}$

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$R = 3 \text{ m} = 9,6 \text{ feet}$$

$$D = 15 \text{ m} = 48 \text{ feet}$$

$$H = 2,5 \text{ m} = 8 \text{ feet}$$

Ditanyakan reduksi suara menurut Formula Lawrence dan Egan?

Jawab:

Karena $D > R$, maka Formula Lawrence dipakai yang sederhana, yaitu:

$$x = \frac{H}{\lambda} \cdot R$$

$$\lambda = \frac{340}{1000} = 0,34 \text{ sehingga } x = \frac{(2,5)^2}{0,34} \cdot 3 = 55,1$$

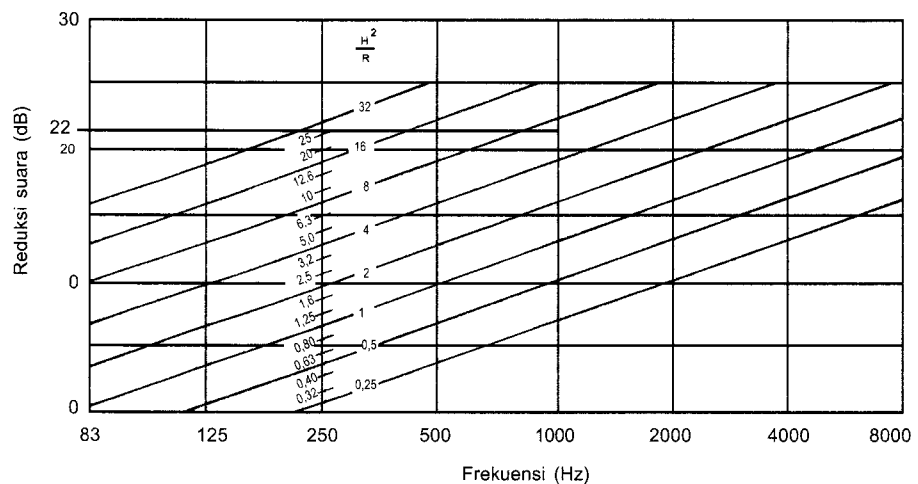
$$N = 10 \log 20 \cdot 55$$

$$= 10 \log 1103$$

$$= 10 \cdot 3$$

$$= 30 \text{ dB re } 10 \text{ N/m}^2$$

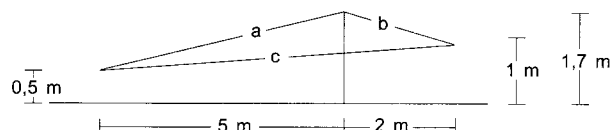
Sementara menurut Formula Egan $\frac{H^2}{R} = \frac{64}{9,6} = 6,7$ (Egan menggunakan satuan feet)



Melalui bagan ditemukan bahwa reduksi suara yang diperoleh adalah 22 dB.

Ternyata secara garis besar ada selisih 8 dB antara penghitungan dengan Formula Lawrence dan Egan.

3. Keadaan pada soal dapat digambarkan sebagai berikut:



$$a = \sqrt{5^2 + (1,2)^2} = 5,14$$

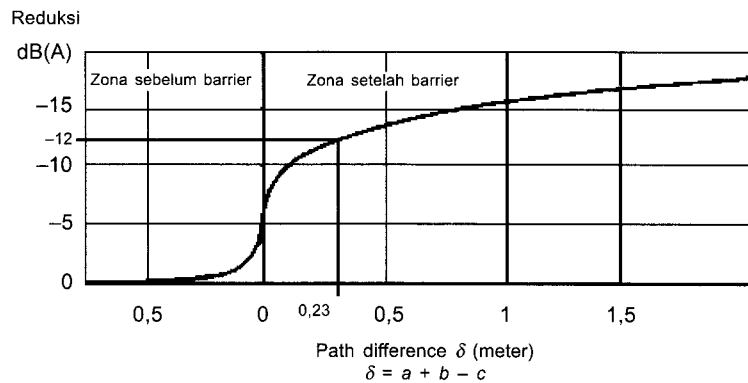
$$b = \sqrt{2^2 + (0,7)^2} = 2,11$$

$$c = \sqrt{7^2 + (0,5)^2} = 7,02$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}\delta &= a + b + c \\ &= 5,14 + 2,11 - 7,02 \\ &= 0,23\end{aligned}$$

Dengan $\delta = 0,23$, menurut bagan reduksi BRE/CIRIA, reduksi bunyinya adalah sekitar 12 dBA.



BAB 6

1. Diketahui dimensi ruangan ($3 \times 4 \times 3$) m³
Koefisien serap untuk masing-masing elemen pembentuk ruang dan luasnya masing-masing:
($40 \times 0,02$) + ($1,6 \times 0,10$) + ($0,4 \times 0,01$) + ($12 \times 0,05$) + ($12 \times 0,01$) = 66

$$\text{SPL} = 70 \text{ dB}$$

$$r = 1 \text{ m}$$

Ditanyakan PWL?

Jawab:

$$\bar{\alpha} = \frac{(40 \times 0,02) + (1,6 \times 0,10) + (0,4 \times 0,01) + (12 \times 0,05) + (12 \times 0,01)}{40 + 1,6 + 0,4 + 12 + 12}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1,684}{66} = 0,026$$

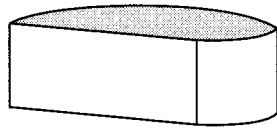
$$R = \frac{66 \cdot 0,026}{1 - 0,026} = \frac{65,974}{0,974} = 67,74$$

$$\text{PWL} = 70 - 10 \log \left[\frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 1^2} + \frac{4}{67,74} \right] = 70 - 10 \log 0,13 = 70 - (-8,9) = 78,9 \text{ dB}$$

2. Ditanyakan reverberation time (t)?

$$\begin{aligned}t &= \frac{0,16 \cdot 5000}{(5000 \times 0,03) + (600 \times 0,04) + (100 \times 0,7) + (70 \times 0,4) + (300 \times 0,3) + (300 \times 0,1) + (400 \times 0,3) + (450 \times 0,46)} \\ t &= \frac{800,24}{442,63} = 1,817 \text{ detik}\end{aligned}$$

3. Sketsa bangunan/ruangan adalah sebagai berikut:



$$\text{Volume} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot (20)^2 \cdot 8 = 5026,5 \text{ m}^3$$

$$t = \frac{0,16 \cdot 5026,5}{(320 \times 0,03) + (502,6 \times 0,02) + (628,3 \times 0,5) + (628,3 \times 0,1) + (100 \times 0,46)}$$

$$t = \frac{800}{584} = 1,37 \text{ detik}$$

4. Faktor yang mempengaruhi keberhasilan resonator Helmholtz adalah:

- luasan area lubang
- kedalaman lubang
- volume rongga di belakang lubang

5. Diketahui $a_1 = 100$ sabin

$$a_2 = 400 \text{ sabin}$$

Ditanyakan NR?

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{NR} &= 10 \log (400/100) \\ &= 10 (\log 400 - \log 100) \\ &= 10 \cdot 0,6 \\ &= 6 \text{ dB} \end{aligned}$$

6. Diketahui $\text{TL} = 50 \text{ dB}$

$$S = 12 \text{ m}^2 = 123 \text{ squarefeet}$$

$$a_2 = 500 \text{ sabins}$$

$$\text{IL}_1 = 76 \text{ dB}$$

Ditanyakan IL_2 ?

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{NR} &= 50 + 10 \log (500/123) \\ &= 50 + 10 (\log 500 - \log 123) \\ &= 50 + 10 \cdot 0,61 \\ &= 56,1 \text{ dB} \\ \text{IL}_2 &= 76 \text{ dB} - 56,1 \text{ dB} \\ &= 19,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

BAB VII

1. Kualitas akustik sebuah auditorium sangat ditentukan oleh waktu dengung (*reverberation time*) yang diciptakan oleh elemen pembentuk ruangan tersebut.
2. Pemantulan tertunda (*echo*) akan menimbulkan cacat akustik sebab akan mengakibatkan ketidakjelasan bunyi. Hal ini terjadi karena bunyi pantulan tidak muncul seketika, maka timbullah bunyi yang seolah-olah bersahut-sahutan.
3. Sebagaimana persamaan (16), bila dimensi auditorium tidak berubah, maka V tidak berubah, sehingga untuk menghasilkan t yang berbeda, A harus berubah. Karena A diperoleh dari Σ luas permukaan pembentuk ruang \times koefisien serap bahan pelapis ruang, maka bila luasan permukaan ruang tidak berubah, koefisien serap bahan pelapis ruang harus diubah. Perubahan koefisien serap berarti digantinya spesifikasi bahan pelapis ruangan.
4. Auditorium idealnya memiliki bentuk lantai seperti tapal kuda karena adanya keterbatasan sudut pandang manusia sebesar 40° total ke kiri dan ke kanan tanpa memalingkan kepala dan besar sudut ideal dari ujung kiri kanan panggung sebesar masing-masing 100° , sehingga bila lantainya berbentuk empat persegi, ada bagian pada lantai penonton yang mendapatkan sudut pandang kurang nyaman ke arah panggung.

BAB 8

1. Dua hal yang menjadi kunci keberhasilan studio adalah: pengendalian kebisingan dan kualitas pelapis ruangan.
2. Prinsip akustik yang dapat diterapkan untuk mengatasi kebisingan di studio adalah memutus perambatan bunyi dengan struktur ganda, seperti pada lantai, dinding dan plafon.
3. Studio umumnya tidak membutuhkan pemantulan bunyi di dalam ruang, karena tidak adanya penonton yang perlu mendapat sebaran bunyi. Lagipula, aktivitas di dalam studio umumnya dilakukan menggunakan peralatan listrik. Kebutuhan akan pantulan bunyi yang dapat memberikan nuansa lebih hidup pada bunyi (seperti untuk suara manusia) sebaiknya dihasilkan dengan peralatan bantu (meja *mixer*) sehingga lebih dapat dikontrol dan disesuaikan dengan kebutuhan orang per orang.
4. Pintu studio adalah titik rawan perambatan bunyi, sehingga perlu dirancang sebagai pintu ganda dengan ruang antara yang mencukupi, agar ketika pintu pertama dibuka, pintu yang lain masih dalam keadaan tertutup untuk meminimalkan perambatan bunyi.

BAB 9

1. Kunci utama pengendalian permasalahan kebisingan pada bangunan publik adalah pembagian *zone* antara area yang menghasilkan kebisingan dan area yang membutuhkan ketenangan.
2. Pemantulan berulang (*flutter echoes* atau *standing waves*) pada koridor atau lorong dapat dikurangi dengan: merancang dinding koridor/lorong agar tidak persis sejajar, melapisi elemen koridor dengan bahan berkoefisien serap tinggi atau melapisi elemen koridor dengan bahan bersifat *diffus*.
3. Pada bangunan sekolah, idealnya ruang-ruang kelas terletak lebih rendah dari lapangan atau area aktivitas *outdoor* lainnya.
4. Layout ideal rumah tinggal untuk pengendalian kebisingan sekaligus memperlancar terjadinya pertukaran udara adalah bentuk "L".

BAB 10

1. Pengendalian kebisingan bangunan di tepi jalan pada negara berkembang seperti Indonesia lebih sederhana daripada di negara maju karena kendaraan bermotor yang lalu-lalang di jalan umumnya berupa sepeda motor atau jenis kendaraan bermotor lain dengan kapasitas mesin (cc) kecil, sehingga tidak terlalu menghasilkan getaran, terhubung spektrum bunyinya berfrekuensi tinggi. Oleh karenanya, bangunan cukup dirancang untuk mengatasi perambatan bunyi saja, tidak perlu sampai untuk menahan getaran.
2. Hal-hal yang dapat ditempuh untuk mengendalikan permasalahan kebisingan pada bangunan di Indonesia dengan sistem akustika luar ruangan adalah: penataan *layout* bangunan dan peletakan *sound barrier* dengan posisi lebih dekat ke jalan (ideal) atau lebih dekat ke bangunan (alternatif berikutnya), serta dengan ketinggian tertentu yang masih memungkinkan terjadinya aliran udara untuk berlangsungnya ventilasi alamiah dalam bangunan.
3. Hal-hal yang dapat ditempuh untuk mengendalikan permasalahan kebisingan pada bangunan di Indonesia dengan sistem akustika pada ruangan dan dalam ruangan adalah: penggunaan material kombinasi yang menghasilkan tingkat insulasi maksimal, peletakan lubang ventilasi yang tidak menghadap langsung kebisingan, serta pemakaian material pelapis ruang yang menghasilkan kualitas akustik sebagaimana diperlukan (apakah untuk memantulkan atau menyerap).
4. Secara teoritis *sound barrier* hanya mampu menahan kebisingan maksimal sebesar 23 dBA.

BAB 11

1. Sebuah ruangan membutuhkan sistem perkuatan dan perbaikan kualitas bunyi buatan bila: kualitas akustik alamiah dalam ruangan buruk (misalnya muncul banyak cacat akustik, seperti *echo*, penyebaran bunyi tidak merata, dan lain-lain) dan ruangan dengan kapasitas pemakai di atas 500 orang.
2. Rangkaian peralatan untuk sistem perkuatan dan perbaikan kualitas bunyi secara umum terdiri dari: *input* (dapat berupa bunyi langsung melalui mikrofon atau bunyi tak langsung dari *player*), kontrol (*amplifier* dan *equalizer*) dan *output* (*loud speaker*).
3. Kualitas *input* melalui mikrofon dipengaruhi oleh: jenis mikrofon, peletakan mikrofon, dan peralatan tambahan yang dipasang menyertai mikrofon.
4. Peletakan *loud speaker* yang ideal untuk ruangan setinggi 10 meter adalah peletakan terpusat.

GLOSARI DAN NOTASI

Akumulasi	= meningkatnya konsentrasi seiring berjalannya waktu
Akustik	= peralatan, material atau tatacara demi mencapai kualitas bunyi yang baik
Akustika	= semua hal yang berhubungan dengan bunyi secara keilmuan (teori/teknik)
Ambang	= batas atau titik kritis kemampuan
Amplitudo	= simpangan maksimum dan minimum dari gelombang bunyi yang menunjukkan keras dan pelannya bunyi
Auditorium	= ruang tempat menyelenggarakan suatu acara yang meliputi adanya penyaji dan penonton
Balkon	= lantai tempat duduk penonton dalam auditorium yang berada di atas lantai satu
Barrier	= bidang batas yang dibangun sebagai penghalang merambatnya gelombang bunyi
CC	= <i>centimeter cubic</i> , untuk mengukur kapasitas mesin kendaraan bermotor
Dengung	= bunyi yang muncul akibat pemantulan yang terjadi sangat cepat
Difus	= menyebar
Dimensi	= ukuran panjang \times lebar \times tebal
Diskontinu	= sengaja dibuat tidak menerus
Drainase	= saluran pembuangan air
Drone	= sudut pada studio rekam berdimensi besar yang sengaja diciptakan untuk menghasilkan bunyi berdengung
<i>Ear protection</i>	= alat pelindung telinga
Fasad	= tampak bangunan
Fleksibel	= dapat diubah/dipindahkan
Fluktuasi	= dinamika naik/turunnya sesuatu yang terukur
Frekuensi	= jumlah putaran atau gelombang setiap detik
Gaung	= bunyi yang muncul akibat pemantulan yang cukup lambat
Gema	= bunyi yang muncul akibat pemantulan yang cukup lambat, nama lain dari gaung
Gelombang sinusoidal	= gelombang yang meliputi puncak dan lembah sebagai perwujudan simpangan maksimum dan minimum
<i>Headphone</i>	= alat yang dipasang pada telinga dengan penghubung antara telinga kiri dan kanan melalui bagian atas kepala, dipakai untuk melindungi telinga atau mendengarkan bunyi secara khusus
Histogram	= cara penggambaran hasil pengukuran/data dalam bentuk batangan
Homogen	= terbuat dari bahan yang sama
Indeks	= angka tunggal yang diperoleh dari banyak angka, setelah melalui proses penghitungan dengan menggunakan formula tertentu
Intensitas	= kekuatan
Insulasi	= usaha untuk meredam pengaruh dari luar ke dalam dan sebaliknya
Isolasi	= usaha untuk membatasi sama sekali terjadinya pengaruh dari dalam ke luar dan sebaliknya
Intrusi	= masuknya suatu zat yang tidak dikehendaki
Koridor	= lorong yang terbentuk di antara dua deretan ruang
Lantai <i>parquette</i>	= lantai yang terbuat dari papan-papan kayu halus
<i>Layout</i>	= tata letak bangunan atau ruang-ruang
<i>Tinitus</i>	= penyakit telinga berupa bunyi mendengung pada telinga
<i>Tone</i>	= penekanan bunyi
Masif	= besar dan rapat, tidak ada celah atau retak
Mono	= bunyi tunggal dari sebuah sumber bunyi
Nois	= bunyi yang tidak dikehendaki diambil dari Bahasa Inggris: <i>noise</i>
Operator	= orang yang menjalankan/mengendalikan peralatan
Panel	= bahan dalam bentuk lembaran dalam dimensi cukup besar yang dipasang untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah

Permanen	=	tidak mudah diubah/dipindahkan
Rasio	=	perbandingan
Resonansi	=	fenomena ikut bergetarnya suatu objek karena memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama dengan objek sumber yang bergetar
Reduksi	=	pengurangan atau penurunan
Rigid	=	keras dan kaku
Sahih	=	valid
Selimut akustik	=	bahan lunak yang dipergunakan untuk meredam bunyi
Stereo	=	kesan/sensasi bunyi yang seolah datang dari beberapa sumber meski sebenarnya berasal dari sebuah sumber bunyi
Stereo set	=	alat elektronik untuk mendengarkan radio dan memutar kaset yang memiliki kemampuan menghasilkan bunyi stereo lengkap dalam satu alat saja
Bunyi infrasonik	=	bunyi yang memiliki frekuensi di bawah ambang batas kemampuan dengar manusia (< 20 Hz)
Bunyi ultrasonik	=	bunyi yang memiliki frekuensi di atas ambang batas kemampuan dengar manusia (> 20.000 Hz)
Transmisi	=	menerusnya energi gelombang bunyi
Zona/zoning	=	pembagian area menurut peruntukan atau fungsi aktivitas tertentu
A	=	total absorpsi dari masing-masing permukaan bidang batas ruangan (m^2), yaitu Σ (luas permukaan \times koefisien absorpsi).
a	=	luas area lubang (m^2)
\bar{a}	=	rata-rata koefisien absorpsi dari semua material pembentuk ruang (rata-rata ini dihitung dengan jalan menghitung masing-masing koefisien absorpsi dikalikan luasan bahan dengan koefisien tersebut, dijumlahkan keseluruhan dan dibagi dengan total luasan pembentuk ruang)
D	=	jarak antara <i>barrier</i> dan pendengar
d	=	kedalaman lubang (m)
d	=	selisih jarak tempuh bunyi asli dan pantulan (m)
f	=	frekuensi (Hz)
l	=	panjang gelombang (m)
π	=	konstanta (3,14)
H	=	ketinggian sumber terhadap ujung atas <i>barrier</i>
I	=	intensitas bunyi pada jarak (r) dari sumber bunyi (Watt/m^2)
IL	=	tingkat kekuatan bunyi (dB)
m	=	massa panel (kg/m^2)
P	=	daya atau kekuatan sumber bunyi (Watt)
p	=	tekanan bunyi (Pa)
ρ	=	kerapatan material (kg/m^3)
P	=	tekanan dalam Pa atau bars ($1 \text{ Pa} = 10 \text{ mbars}$)
P_0	=	tekanan acuan (20 mPa)
SPL	=	<i>sound pressure level</i> (dB)
PWL	=	<i>sound power level</i> (dB)
NR	=	<i>noise reduction</i> (dB)
R	=	jarak dari sumber ke <i>barrier</i>
R	=	konstanta ruangan (m^2)
r	=	jarak dari sumber ke pendengar
S	=	total kemampuan serap elemen pembentuk ruang
TL	=	<i>transmission loss</i> yang dimiliki bidang batas antara dua ruangan (dB)
t	=	waktu dengung (detik)
V	=	volume ruangan (m^3)
v	=	kecepatan rambat (m/det)

PUSTAKA

- , 2003, *Bruel and Kjaer Magazine*, Edisi No.2
- , 1975, *Calculation of Road Traffic Noise*, Department of the Environment Welsh Office, Her Majesty's Stationery Office, London
- , 1995, Diktat Kuliah, *School of Audio Engineering*, Amsterdam
- , 1993, "Sound Control for Homes", *BRE and CIRIA Report*, UK
- Agustian, Ratna Anggraeni, 1995, Anatomi Fisiologi dan Pemeriksaan pada Gangguan Pendengaran, *Proceeding Seminar Nasional Akustik*, Teknik Fisika, ITB
- Attenborough, Keith, 1972, *Noise Abatement*, The Open University Press, Buckinghamshire, UK
- Bies, D.A. and C. H. Hansen, 1996, *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, E&FN Spon, London
- Chunnif, Patrick F., 1977, *Environmental Noise Pollution*, John Wiley and Sons, New York
- Croome, D.J., 1977, *Noise, Buildings and People*, Pergamon Press, UK
- Egan, M. David, 1976, *Concepts in Architectural Acoustic*, Prentice-Hall Inc., New-Jersey
- Eldred, K., 1990, "Noise at the Year 2000", *Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Volume 5, Swedish Council for Building Research, Stockholm
- Eldridge, H.J., 1974, *Properties of Building Materials*, MTP Construction, Lancaster, UK
- Freeborn and SW. Turner, 1988/1989. "Environmental Noise Vibration", *Noise Control in the Built Environment*, edited by John Roberts and Diane Fairhall, Gower Technical, US
- Kodoatie, Robert J., 2003, Manajemen dan Rekayasa Infrastruktur, Pustaka Pelajar, Yogyakarta
- Koenigsberger, O.H, et al, 1973, *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman, Bombay, India
- Lawrence, Anita, 1967, *Architectural Acoustic*, Applied Science Publishers Ltd., London
- Lechner, Norbert, 1991, *Heating, Cooling, Lighting (Design Methods for Architect)*, John Wiley and Sons, New York
- Lutfi, Rizwan, 1995, Peraturan dan Standar Kebisingan untuk Lingkungan Pemukiman, *Proceeding Seminar Nasional Akustik*, Teknik Fisika, ITB
- McMullan, Randall, 1992, *Environmental Science in Buildings*, third edition, Macmillan, London
- Mediastika, C.E., 2000, *Design Solutions for Naturally Ventilated Houses In A Hot Humid Region with Reference To Particulate Matter And Noise Reduction*, PhD dissertation, University of Strathclyde, Glasgow, UK
- Misner, Tom, 1994, *Practical Studio Techniques*, School of Audio Engineering, Amsterdam
- Moore, Fuller, 1993, *Environmental Control System*, McGraw-Hill Inc., USA
- Moore, JE., 1967, *Design for Good Acoustic*, second edition, Architectural Press, London
- Moore, JE., 1966, *Design for Noise Reduction*, Architectural Press, London
- Nilsson, P.O.L, 1991, "Noise Induced Hearing Loss", *Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Volume 4, Swedish Council for Building Research, Stockholm
- Rettinger, Michael, 1977, *Acoustic Design and Noise Control*, Volume 1 (Acoustic Design), Chemical Publishing Co., New York
- Stein, Benjamin, dkk, 1986, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, edisi tujuh, John Wiley and Sons, Canada
- Templeton, D. and D. Saunders, 1987, *Acoustic Design*, The Architectural Press, London
- Thomas, Randall, 1996, *Environmental Design*, First Edition, E & FN Spon, London
- White, R.G. and J.G. Walker, 1982, *Noise and Vibration*, Ellis Horwood Ltd., England
- Yulyanto, Wisnu Eka dan Sigit Reliantoro, 1995, Penggunaan Metoda Pengukuran L_{Aeq} dan L_x dalam Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan, *Proceeding Seminar Nasional Akustik*, Teknik Fisika, ITB

INDEKS

- absorpsi 50
- acoustic tile 108
- airborne sound 46
- alat ukur kekuatan bunyi 14
- aliran udara 124
- ambang batas pendengaran 10
- ambient noise 24, 30
- amplifier 132
- anechoic chamber 113
- arah perambatan bunyi 8
- area
 - dead 107
 - live 107
- asal kebisingan bangunan 45
- auditorium 91
 - akustika dalam ruangan 93
 - akustika luar ruangan 92
 - balkon 97, 101
 - bias 96
 - dinding 92, 96, 99
 - reverberation 99
 - echo 99
 - jarak antar baris 98
 - jarak maksimal 97
 - jumlah ideal kursi per baris 98
 - kemampuan melihat 96
 - kenyamanan audio-visual 96
 - ketidakjelasan bunyi 99
 - ketidaknyamanan visual 95
 - lantai 92, 95, 97, 98, 107
 - panggung arena 93, 94
 - pantul 96
 - perbedaan ketinggian 95, 98
 - plafon 96, 98, 108
 - ruang 93
 - selisih jarak tempuh bunyi 100
- background noise 24, 115
- balkon 97, 101
- bangunan
 - asal kebisingan 45
 - penerima kebisingan 45
 - rancangan akustik 126
 - selubung 124
- baris
 - jumlah ideal kursi 98
- barrier 66, 123, 126
- bars 10
- bias 96
- bunyi
 - bobot 12
 - frekuensi 6
 - gelombang 6
 - kecepatan rambat 7
 - kekuatan 6, 8
 - perambatan 3, 4, 8
 - selisih jarak tempuh 100
 - spektrum 24
 - tekanan 10
 - warna 6
- coincident pair, XY 132
- condenser microphone 129
- cubicle 115
- daya sumber bunyi 9
- desk analyser 14
- difraksi 85
- difusi 86, 118, 125
- dinamis 131
- dinding 96, 99
 - area penonton 96
 - ganda, doubled wall 92
 - panggung 96
 - rumah sakit 119
- diskontinu 50
- dead area 107
- drainase 119
- dynamic microphone 129
- ear protection 19, 33, 49, 121
- efek proximity 130
- ekuivalen 30
- equal loudness level contour 12
- equalizer 132
- equivalent index 30
- faktor
 - akustikal, non-akustikal 27
 - kebisingan jalan 39
 - tingkat kebisingan 11
 - toleransi kebisingan 27
- flanking transmission 47, 50
- Fletcher-Munson 12
- flutter echoes 50, 79, 86, 96, 118, 125
- frekuensi 6, 7, 24, 66
 - rendah, sedang, tinggi 7
 - spektrum 6
- gangguan kebisingan 27
- gelombang 3, 4, 6, 48
- glass-wool 50, 107, 109
- hand held analyser 14
- headphone 19
- Helmholtz resonator 84
- histogram kebisingan 31
- Hertz, Hz 6, 7
- hotel 118
 - difus 118
 - ruang kebisingan 118
 - ruang servis 118
- impact sound 46
- infrasonik 6
- insulasi 50
- intensitas bunyi 9, 10, 11
- interior fleksibel 91
- jalan raya 35, 36
 - faktor 38
 - kebisingan 45, 126
- jarak
 - antar baris 98
 - barrier terhadap pendengar 66
 - maksimal 97
 - selisih tempuh bunyi 100
- jarak sumber bunyi 9
 - terhadap barrier 66
- jendela 124
 - studio 110
- jenis perambatan kebisingan 46
- jumlah
 - sumber bunyi 30
 - ideal kursi per baris 98
- kantor 115
 - background noise, kebisingan latar belakang 115
 - cubicle 115
 - pintu 115
 - zone 115
- kebisingan 23, 27
 - akustikal, non-akustikal 27
 - asal bangunan 45
 - bangunan penerima 45
 - industri/pabrik 33
 - jalan raya 35, 45, 126
 - mengatasi 28, 122
 - mengukur 28, 126
 - pengendalian 104
 - perambatan 46
 - ruang 118

- tingkat gangguan 27
- toleransi 27
 - faktor 27
- kecepatan rambat 7, 10
- kekuatan bunyi 6, 8, 9
 - alat ukur 14
 - ukuran 9
 - SLM 14
- standar pengukuran 11
- kemampuan melihat 96
- kendaraan 35, 121
- kenyamanan audio-visual 96
- kerapatan material 7, 10
- kereta api 33
- ketenggangan 24
- ketidaknyamanan 24
 - visual 95
- ketinggian sumber terhadap barrier 66
- koefisien absorpsi 78
- konsep akustik 107
- konstanta ruangan 78
- laboratorium 113
- lantai 95, 97, 107
 - area penonton 97
 - bertrap 98
 - ganda 92, 107
 - miring 98
 - panggung 95
 - penyelesaian 91
 - rumah sakit 119
 - studio 107
- latar belakang 30
- layout 122
- lingkungan 23
- live area 107
- longitudinal 4
- lubang ventilasi 110
- luas permukaan 81
- medium
 - kebisingan 45
 - perambatan bunyi 4
- mendengar 4
 - proses 3
- mengatasi kebisingan 28, 122
 - indoor 125
 - selubung bangunan 124
 - outdoor 122
- menggunakan SLM 14
- mengukur
 - kebisingan akhir 126
 - tingkat kebisingan 28
- menyamarkan bunyi 27
- mikrofon 129
 - condenser 129
 - dynamic 129, 131
 - efek proximity 130
- near coincident pair 132
- off axis, on axis 129
- peredam getaran 130
- perlengkapan 130
- semistatis 131
- statis 131
- stereo 131
- teknik peletakan 131
- windscreen 130
- monitor speaker 136
- near coincident pair 132
- negara berkembang 121
- nois 23, 24, 27
 - ambien 24
 - latar belakang 24, 27
 - subjektivitas 23
- noise 23, 24
 - ambient 24
 - criteria 24, 27
 - background 24
 - NC 24, 27
- panggung
 - arena 94
 - dinding 96
 - extended 94
 - lantai 95
 - proscenium 93
 - terbuka 94
- panjang gelombang 6, 7, 66
- peak hour 28
- peletakan mikrofon
 - AB. sejajar 132
 - coincident pair. XY 132
 - dinamis 131
 - semistatis 131
 - statis 131
- peletakan speaker
 - menyebar 134
 - monitor 136
 - terpusat 134
- pelindung telinga 19, 33, 49
- pemantulan 107
 - dengung, reverberation 99
 - tunda, echo, gema 99
- pemisahan ruang 119
- pengendalian kebisingan 104
- pengudaraan buatan 110
- penunjuk polusi kebisingan 41
- penyelesaian lantai 91
- perambatan bunyi 3
 - arah 8
 - medium 4
- perambatan kebisingan 46
- peraturan kebisingan 27
 - Indonesia 28
 - kendala 27
- perbedaan
 - bunyi 11
 - ketinggian 95, 98, 118
- percentile index 31
- peredam getaran 130
- perlengkapan mikrofon 130
- perpustakaan 120
- persentase 30
- phon 12
- pintu
 - auditorium 100
 - ganda 113
 - kantor 115
 - studio 110
- plafon
 - area penonton 98
 - panggung 96
 - studio 108
- polusi kebisingan 41
- preferred noise criteria 27
- presbycusis 18
- proses mendengar 3
- proximity 130
- rancangan akustik bangunan 126
- rancangan bangunan 122
- rata-rata koefisien absorpsi 78
- redesigning 87
- refraksi 86
- rendah, sedang, tinggi 7
- resonansi 9, 48
- resonator Helmholtz 84
- room acoustic 87
- reverberant chamber, ruang
 - pemantulan 113
- reverberation 99, 125
- ribbon microphone 129
- ruang
 - auditorium 93
 - operator 108
- rumah sakit 119, 122
 - lantai dan dinding 119
 - pemisahan ruang 119
- rumah tinggal 120
- selimut akustik 107
- selisih jarak tempuh bunyi 100
- selubung bangunan 124
- semistatis 131
- sensitivitas telinga 12
- SLM 14, 28, 31, 41
 - desk analyser 14
 - hand held analyser 14
 - histogram 31
 - kekuatan bunyi 14
- softboard 49
- sound
 - airborne 46

- impact 46
- intensity 9
- level 9, 14
- sound system 128
 - prinsip kerja 129
- speaker 134
 - menyebarkan 134
 - monitor 136
 - peletakan 134
 - terpusat 134
- spektrum
 - bunyi 24
 - frekuensi 6
- SPL 10, 78
- standar deviasi 41
- standing waves 50, 79, 86, 96, 118, 125
- statis 131
- structureborne sound 46
- struktur diskontinu 50
- studio 104
 - acoustic tile 108
 - akustika dalam ruangan 104
 - akustika luar ruangan 106
 - dead area 107
 - glass-wool 107, 109
 - jendela 110
 - karpas 108
 - karton tempat buah/telur 108
- konsep akustik 107
- laboratorium 113
- lantai 107
- live area 107
- lubang ventilasi 110
- operator 109
- pemantulan 107
- pengendalian kebisingan 104
- pengudaraan buatan 110
- pintu 110
- pintu ganda 113
- plafon 108
- ruang 106
- ruang operator 108
- selimut akustik 107
- subjektivitas
 - kebisingan 27
 - nois 23
- sudut datang, sudut pantul 48, 78
- suhu 7
- sumber
 - getaran 3
 - kebisingan 33, 45
 - kebisingan kendaraan 36
- sumber bunyi
 - titik 4
 - garis 5
 - jarak 9
 - jumlah 30
- tekanan bunyi 10
- teknik peletakan mikrofon 131
- telinga 12, 16
 - gangguan 17
 - ketulian 18
- tingkat
 - gangguan kebisingan 27
 - ketenggangan 24
- tingkat kebisingan 24
 - faktor 11
 - gangguan 27
 - mengukur 28
 - tunggal, tumpukan 30
- toleransi kebisingan 27
 - faktor akustikal 27
 - faktor non-akustikal 27
- transmisi 86
- threshold of
 - hearing 10, 11
 - pain 10, 18
- tumpukan kebisingan 29
- ukuran kekuatan bunyi 9
- waktu dengung 81
- warna bunyi 6
- windscreen 130
- zone 115

