

S E R I   D I K T A T   K U L I A H

# Rekayasa Jalan Raya-2

ANDI TENRISUKKI TENRIAJENG



PENERBIT GUNADARMA

# Daftar Isi



## DAFTAR ISI

### KATA PENGANTAR

<b>BAB 1</b>	<b>PERKERASAN JALAN</b>	<b>1</b>
1.1.	PENDAHULUAN	1
2.1.	LAPISAN PERKERASAN JALAN	1
<b>BAB 2</b>	<b>JENIS DAN FUNGSI LAPISAN PERKERASAN LENTUR</b>	<b>36</b>
2.1,	LAPISAN PERMUKAAN (SURFACE COURSE)	10
2.2.	LAPISAN PONDASI ATAS	12
2.3.	LAPISAN PONDASI BAWAH (SUBBASE COURSE)	13
2.4.	LAPISAN TANAH DASAR	14
<b>BAB 3</b>	<b>MATERIAL KONSTRUKSI PERKERASAN LENTUR</b>	<b>16</b>
3.1.	TANAH DASAR	16
3.2.	AGREGAT	27
3.3.	ASPAL	37
<b>BAB 4</b>	<b>PARAMETER PERENCANAAN TEBAL LAPISAN KONSTRUKSI PERKERASAN</b>	<b>48</b>
4.1.	FUNGSI JALAN	48
4.2.	KINERJA PERKERASAN JALAN (PAVEMENT PERFORMANCE)	50
4.3.	UMUR RENCANA	53
4.4.	LALU LINTAS	53
4.5.	SIFAT TANAH DASAR	66
4.6.	KONDISI LINGKUNGAN	68

4.7. SIFAT MATERIAL LAPISAN PERKERASAN	70
4.8. BENTUK GEOMETRIK LAPISAN PERKERASAN	71
<b>BAB 5 PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN</b>	<b>72</b>
5.1. PENDAHULUAN	72
5.2. KONSEP KERUSAKAN PADA PERKERASAN KARENA KELELAHAN AKIBAT BEBAN BERULANG	72
5.3. FAKTOR BEBAN	74
5.4. FAKTOR DAYA DUKUNG TANAH DASAR	81
5.5. PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN KAKU	103
5.6. PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN LENTUR, METODA D.U. SUDARSONO (1992)	119
<b>BAB 6 ASPAL BETON CAMPURAN PANAS</b>	<b>136</b>
6.1. KLASIFIKASI ASPAL BETON	136
6.2. KARAKTERISTIK CAMPURAN	137
6.3. PERECANAAN CAMPURAN (MIX DESIGN)	139
6.4. PERMASALAHAN YANG DAPAT MEMPENGARUHI KUALITAS DARI ASPAL BETON CAMPURAN PANAS	152
6.5. PEMADATAN ASPAL BETON	153
6.6. PEMERIKSAAN HASIL PEMADATAN	153
6.7. PEMERIKSAAN SIFAT CAMPURAN	154
<b>BAB 7 PERANCANGAN TEBAL LAPIS ULANG (OVERLAY)</b>	<b>155</b>
7.1. PENDAHULUAN	155
7.2. PERHITUNGAN TEBAL LAPIS ULANG DENGAN CARA LENDUTAN BALIK	156
7.3. PERHITUNGAN UMUR SISA PERKERASAN BERDASARKAN LENDUTAN BALIK	158
<b>BAB 8 KERUSAKAN-KERUSAKAN PERMUKAN JALAN DAN PEMELIHARAANNYA</b>	<b>163</b>
8.1. JENIS KERUSAKAN PADA PERKERASAN LENTUR	164
DAFTAR PUSTAKA	176

# **Bab 1. Perkerasan Jalan**

## **1.1. PENDAHULUAN**

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai:

- Batu pecah
- Batu belah
- Batu kali
- Hasil samping peleburan baja

Bahan ikat yang dipakai :

- Aspal
- Semen
- Tanah liat.

## **1.2. LAPISAN PERKERASAN JALAN**

Berdasarkan bahan ikat, lapisan perkerasan jalan dibagi atas dua kategori :

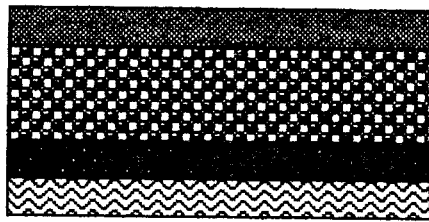
1. Lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*)
2. Lapisan perkerasan kaku (*rigid pavement*)

### **1.2.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)**

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut adalah :

1. Lapisan permukaan (*surface coarse*)
2. Lapisan pondasi atas (*base coarse*)
3. Lapisan pondasi bawah (*sub-base coarse*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)





LAPIS PERMUKAAN

LAPIS PONDASI ATAS

LAPIS PONDASI BAWAH

LAPIS TANAH DASAR

**Gambar 1.1.** Susunan Perkerasan Jalan

#### 1.2.1.1. Lapisan Permukaan (*Surface Coarse*)

Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas. Lapisan tersebut berfungsi sebagai berikut :

- Lapis perkerasan penahan beban roda, yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan roda selama masa pelayanan.
- Lapisan kedap air.  
Air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
- Lapis aus.  
Lapisan ulang yang langsung menderita gesekan akibat roda kendaraan.
- Lapis-lapis yang menyebabkan beban ke lapisan dibawahnya sehingga dapat dipukul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih jelek.

Lapis permukaan berdasarkan fungsinya :

- Lapis non struktural, sebagai lapis aus dan kedap air.
- Lapis struktural, sebagai lapis yang menahan dan menyebarkan beban roda.

Bahan-bahannya terdiri dari batu pecah, kerikil, dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air dan memberikan bantuan tegangan tarik yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Pemilihan bahan lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana, serta pentahapan konstruksi agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

#### 1.2.1.2. Pondasi Atas (*Base Coarse*)

Lapis pondasi atas adalah bagian lapis perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

Fungsi lapis pondasi atas adalah :

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresepan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan untuk lapis pondasi atas cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda.

Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknis. Berbagai macam bahan alam/bahan setempat (CBR >50 %, PI < 4 %) dapat digunakan sebagai bahan lapisan pondasi atas, antara lain batu merah, kerikil, dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

#### **1.2.1.2. Lapis Pondasi Bawah (*Sub-Base Coarse*)**

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dengan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah adalah :

1. Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Efisiensi penggunaan material. Materi pondasi bawah lebih murah daripada lapisan di atasnya.
3. Lapis peresepan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
4. Lapisan partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas.

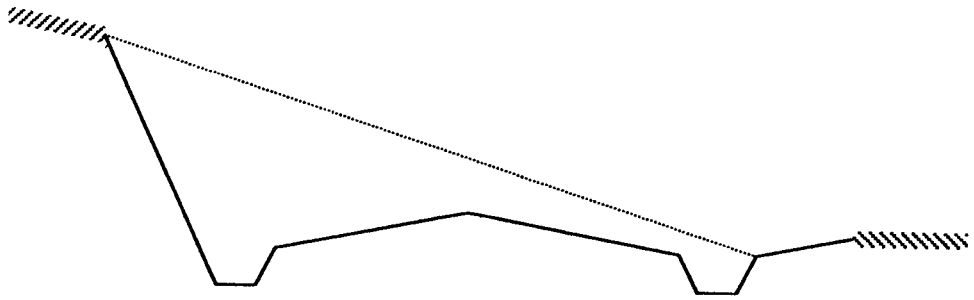
Bahannya dari berbagai macam bahan setempat (CBR >20 %, PI < 10 %) yang relatif jauh lebih baik dengan tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah.

Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan agar didapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

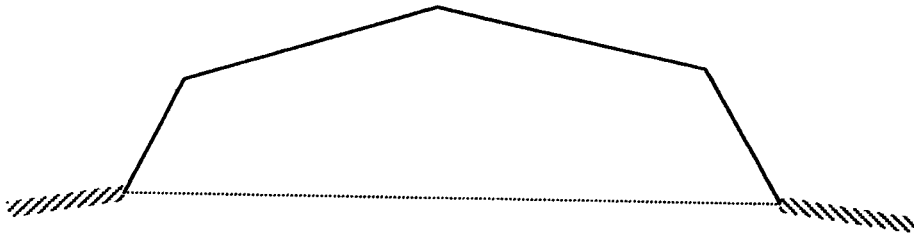
#### **1.2.1.3. Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

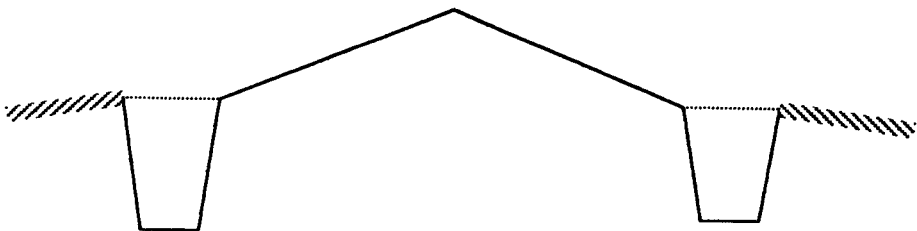
Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan tergantung dari sifat-sifat daya dukung tanah dasar.



**Gambar 1.2. : Tanah dasar berupa galian**



**Gambar 1.3 : Tanah dasar berupa timbunan**



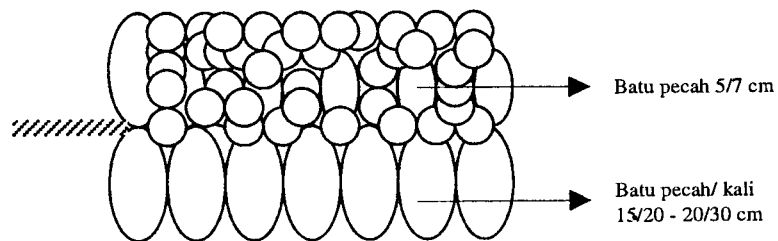
**Gambar 1.4 : Tanah dasar berupa tanah asli**

Persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah :

- perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- Sifat kembang susut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- Daya dukung tanah yang tidak merata, sukar ditentukan secara pasti ragam tanah yang sangat berbeda sifat dan kelembabannya.
- Lendutan atau lendutan balik.

#### 1.2.1.4. Konstruksi Pondasi

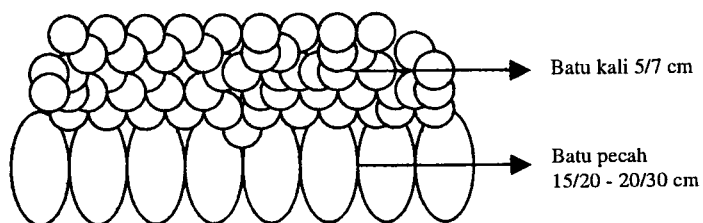
##### Konstruksi Macadam



**Gambar 1.5** Pondasi Macadam

##### Konstruksi Telford

Konstruksi ini terdiri dari batu pecah berukuran 15/20 sampai 25/30 yang disusun tegak. Batu-batu kecil di atasnya untuk menutup pori-pori yang ada dan memberikan permukaan yang rata. Konstruksi Telford di pakai sebagai lapisan pondasi.



**Gambar 1.6.** Pondasi Telford

### **Japat**

Jalan agregat padat tahan cuaca. Semua jenis jalan tanah (dapat menggunakan kerikil) yang dipadatkan.

### **Soil Cement**

Campuran antara tanah setempat dengan semen dengan perbandingan berat 6 % yang dipadatkan di tempat dengan tebal padat 15-20 cm.

### **Burtu (taburan aspal satu lapis)**

Lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimum 2 cm. Lapisan ini biasanya dipakai sebagai lapisan non struktural.

### **Burda (taburan aspal dua lapis)**

Lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan agregat yang dikerjakan dua lapis secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan non struktural.

### **Latasir (lapis tipis aspal pasir)**

Lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal padat 1-2 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan non struktural.

### **Buras (taburan aspal)**

Lapisan penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan taburan pasir dengan ukuran butir maksimum 3/8". Lapisan ini dipakai sebagai lapisan non struktural.

### **Lapen (lapis penetrasi Macadam)**

Lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam dan diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan lapisan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Di atas lapen ini diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan satu lapis 4-10 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan permukaan struktural.

### **Lasbutag (lapisan asbuton agregat)**

Lapisan yang terdiri dari campuran antara agregat asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal padat tiap lapisan 3-5 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan permukaan yang bersifat struktural.

### **Latasbun (lapisan tipis asbuton murni)**

Lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin. Tebal padat maksimum 1 cm. Lapisan ini dipakai sebagai lapisan non struktural (lapis permukaan).

### **Lataston (lapis tipis aspal beton “Hot Rolled Sheets” HRS)**

Lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi menerus. Material pengisi (*filler*) dan aspal panas dengan perbandingan tertentu yang dicampurkan dan dipadatkan dalam keadaan panas. Tebal padat 2,5 - 3 cm. Lapis ini digunakan sebagai lapis permukaan struktural.

### **Laston (lapis aspal beton)**

Lapis yang terdiri dari campuran aspal keras (AC) dan agregat yang mempunyai gradasi menerus dicampur, dihampar, dan dipadatkan pada suhu tertentu. Lapis ini digunakan sebagai lapis permukaan struktural dan lapis pondasi, (asphalt concrete base/asphalt trated base).

### **Concrete blok (conblok)**

Blok-blok beton misalnya berbentuk segi enam disusun di atas lapisan pasir yang diratakan dengan maksud supaya air tidak tergenang di atas blok beton.

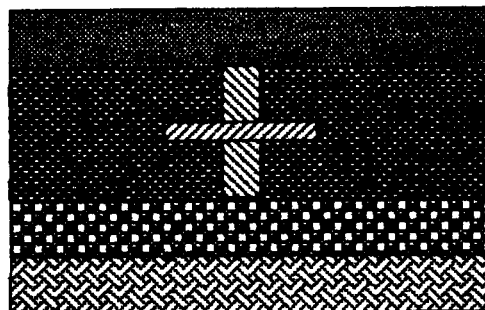
### **1.2.2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)**

Perkerasan yang menggunakan bahan ikat semen portland, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

LAPIS PERMUKAAN

PLAT BETON SEMEN

LAPIS PONDASI BAWAH



**Gambar 1.7** Struktural perkerasan kaku

Lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah memberikan sumbangan yang besar terhadap daya dukung perkerasan terutama didapat dari pelat beton. Hal tersebut disebabkan oleh sifat pelat beton yang cukup kaku sehingga dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya.

Jenis-jenis perkerasan kaku antara lain :

1. Perkerasan beton semen.

Yaitu perkerasan kaku dengan beton semen sebagai lapis aus. Terdapat empat jenis perkerasan beton semen :

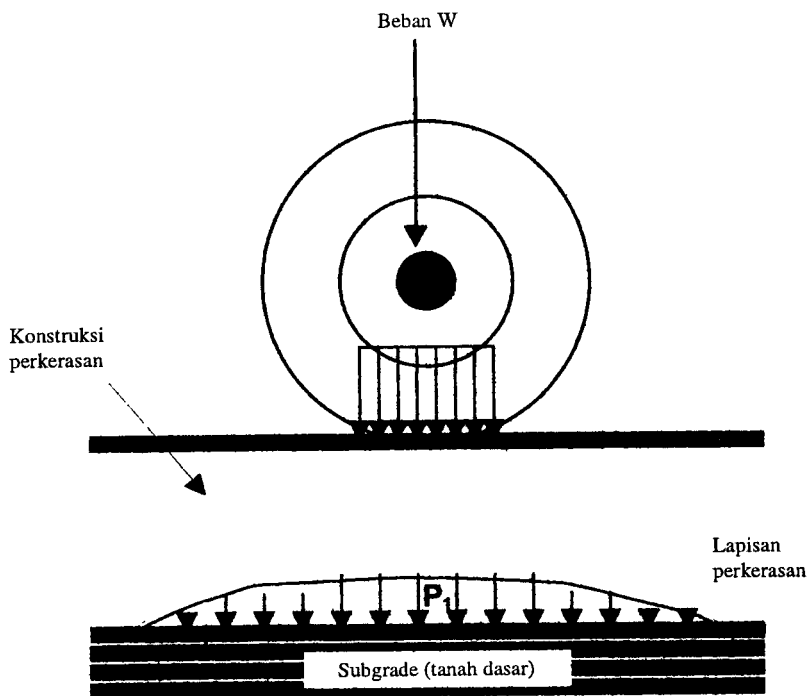
- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulang.
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulang.
- c. Perkerasan beton semen bersambung menerus dengan tulang.
- d. Perkerasan beton semen pra tekan.

2. Perkerasan Komposit.

Yaitu perkerasan kaku dengan pelat beton semen sebagai lapis pondasi dan aspal beton sebagai lapis permukaan. Perkerasan kaku ini sering digunakan sebagai *runway* lapangan terbang.

## Bab 2 Jenis Dan Fungsi Lapisan Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata  $P_0$ . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi  $P_1$  yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

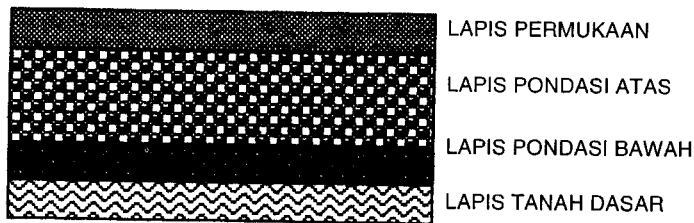


**Gambar 2.1.** Penyebaran beban roda melalui lapisan perkerasan jalan



Konstruksi perkerasan lentur jalan raya terdiri atas lapisan-lapisan yang dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) bagian, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 :

1. Lapisan permukaan (*surface course*)
2. Lapisan pondasi atas (*base course*)
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*).



**Gambar 2.2.** Susunan lapisan konstruksi perkerasan lentur

Sedangkan beban lalu lintas yang bekerja di atas konstruksi perkerasan dapat dibedakan atas :

1. Muatan kendaraan berupa gaya vertikal
2. Gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal
3. Pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran.

Oleh karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh masing-masing lapisan.

### **2.1. LAPISAN PERMUKAAN (SURFACE COURSE)**

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan, berfungsi antara lain sebagai berikut :

1. Lapisan perkerasan menahan beban roda, dengan persyaratan harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan daya dukung yang lebih buruk.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut di atas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Jenis lapis permukaan yang umum digunakan di Indonesia antara lain :

1. Lapisan bersifat **nonstruktural**, berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air.
  - \* Burtu (laburan aspal satu lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam, dengan tebal maksimum 2 cm.
  - \* Burda (laburan aspal dua lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm.
  - \* Latasir (lapis tipis aspal pasir), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal padat 1 - 2 cm.
  - \* Buras (laburan aspal), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal taburan pasir dengan ukuran butir maksimum 3/8 inch.
  - \* Latasbum (lapis tipis asbuton murni), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal padat maksimum 1 cm.
  - \* Lataston (lapis tipis aspal beton), dikenal dengan nama *hot rolled sheet* (HRS), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Tebal padat antara 2,5 - 3,0 cm.

Jenis lapis permukaan di atas walaupun bersifat nonstruktural, namun dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. Jenis perkerasan ini terutama digunakan untuk pemeliharaan jalan.

2. Lapisan bersifat **struktural**, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda kendaraan.
  - \* Penetrasi Macadam (Lapen), merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Di atas lapen ini biasanya diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan satu lapis dapat bervariasi antara 4 - 10 cm.
  - \* Lasbutag merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal pada tiap lapisannya antara 3 - 5 cm.

- \* Laston (Lapis aspal beton), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

## 2.2. LAPISAN PONDASI ATAS (BASE COURSE)

Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas (*base course*). Karena terletak tepat di bawah permukaan perkerasan, maka lapisan ini menerima pembebanan yang berat dan paling menderita akibat muatan, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas sangat tinggi dan pelaksanaan konstruksi harus dilakukan dengan cermat. Secara umum *base course* mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Sebagaimana disebutkan di depan bahwasanya material yang digunakan untuk lapis pondasi atas (*base course*) adalah material yang cukup kuat. Untuk lapis pondasi atas tanpa bahan pengikat umumnya menggunakan material dengan CBR > 50 % Plastisitas Index (PI) < 4 %. Bahan-bahan alam seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilitas tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai base course. Jenis lapis pondasi atas yang umum digunakan di Indonesia antara lain :

1. Agregat bergradasi baik, dapat dibagi atas batu pecah kelas A, batu pecah kelas B dan batu pecah kelas C. Batu pecah kelas A mempunyai gradasi yang lebih kasar dari batu pecah kelas B, dan batu pecah kelas B lebih kasar dari batu pecah kelas C. Kriteria dari masing-masing jenis lapisan di atas dapat diperoleh pada spesifikasi yang diberikan. Sebagai contoh diberikan persyaratan gradasi dari lapisan pondasi atas kelas B. Lapis pondasi kelas B terdiri dari campuran kerikil dan kerikil pecah atau batu pecah dengan berat jenis yang seragam dengan pasir, lanau atau lempung dengan persyaratan di bawah ini :

ASTM Standard Sieve	Persentase Berat Butir Lolos
1,5 "	100
1"	60 - 100
0,75	55 - 85
No. 4	35 - 60
No. 10	25 - 50
No. 40	15 - 30
No.200	8 - 15

Partikel yang mempunyai diameter kurang dari 0,02 mm harus tidak lebih dari 3 % dari berat total contoh bahan yang diuji.

2. Pondasi Macadam
3. Pondasi Telford
4. Penetrasi Macadam (Lapen)
5. Aspal Beton Pondasi (Asphalt Concrete Base / Asphalt Treated Base)
6. Stabilisasi yang terdiri dari :
  - \* Stabilisasi agregat dengan semen (Cement Treated Base)
  - \* Stabilisasi agregat dengan kapur (Lime Treated Base)
  - \* Stabilisasi agregat dengan aspal (Asphalt Treated Base).

### **2.3. LAPIS PONDASI BAWAH (SUBBASE COURSE)**

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapis pondasi bawah (subbase) yang berfungsi sebagai :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat, mempunyai CBR ( 20 % dan Plastisitas Indeks (PI) >10 %.
2. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
4. Lapisan peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
5. Lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda-roda alat berat.
6. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas. Untuk itu lapisan pondasi bawah haruslah memenuhi syarat filter yaitu:

$$\frac{D_{15} \text{ subbase}}{D_{15} \text{ subgrade}} \geq 5$$

$$\frac{D_{15} \text{ subbase}}{D_{85} \text{ subgrade}} \leq 5$$

dimana :

D<sub>15</sub> : diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 15 %.

D<sub>85</sub> : diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 85 %.

Jenis lapisan pondasi bawah yang umum digunakan di Indonesia adalah:

1. Agregat bergradasi baik, dibedakan atas sirtu/pitrun yang terbagi dalam kelas A, kelas B dan kelas C. Sirtu kelas A bergradasi lebih kasar dari sirtu kelas B, yang masing-masing dapat dilihat pada spesifikasi yang diberikan.

2. Stabilisasi yang terdiri dari :

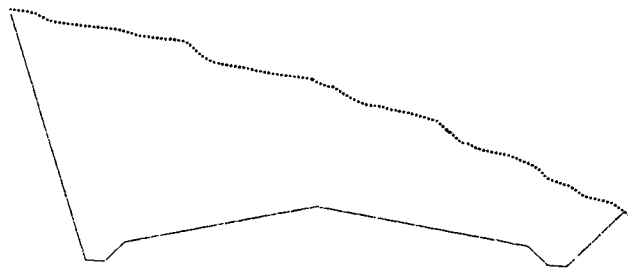
- \* Stabilisasi agregat dengan semen (Cement Treated Subbase)
- \* Stabilisasi agregat dengan kapur (Lime Treated Subbase)
- \* Stabilisasi tanah dengan semen (Soil Cement Stabilization)
- \* Stabilisasi tanah dengan kapur (Soil Lime Stabilization).

**2.4. LAPISAN TANAH DASAR (SUBGRADE)**

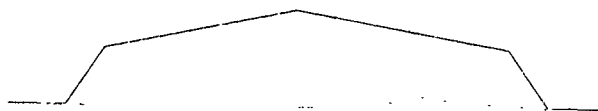
Lapisan tanah setebal 50 - 100 cm dimana di atasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar (subgrade) yang dapat berupa tanah asli yang dipadatkan (jika tanah aslinya baik), tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik akan diperoleh jika dilakukan pada kondisi kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan pelengkapan drainase yang memenuhi syarat. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar (subgrade) dapat dibedakan atas (seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3):

- \* Lapisan tanah dasar, tanah galian
- \* Lapisan tanah dasar, tanah timbunan
- \* Lapisan tanah dasar, tanah asli.

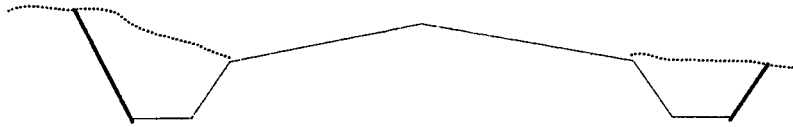
Sebelum lapisan-lapisan lainnya diletakkan, tanah dasar (subgrade) dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan volume, sehingga dapat dikatakan bahwa kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar.



TANAH DASAR, TANAH GALIAN



TANAH DASAR, TANAH TIMBUNAN



### TANAH DASAR, TANAH ASLI

**Gambar 2.3.** Jenis tanah dasar ditinjau dari muka tanah asli

Masalah- masalah yang sering dijumpai menyangkut tanah dasar (subgrade) adalah :

- Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas. Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan jalan tersebut rusak. Tanah- tanah dengan plastisitas tinggi cenderung untuk mengalami hal ini. Lapisan-lapisan tanah lunak yang terdapat di bawah tanah dasar harus diperhatikan. Daya dukung tanah dasar yang ditunjukkan oleh nilai CBR nya dapat merupakan indikasi dari perubahan bentuk yang dapat terjadi.
- Daya dukung tanah dasar yang tidak merata pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda. Penelitian yang saksama atas jenis dan sifat tanah dasar sepanjang jalan dapat mengurangi akibat tidak seragamnya daya dukung tanah dasar. Perencanaan tebal perkerasan dapat dibuat berbeda-beda dengan membagi jalan menjadi segmen-segmen berdasarkan sifat tanah yang berlainan.
- Perbedaan penurunan (differential settlement) akibat terdapatnya lapisan-lapisan tanah lunak di bawah tanah dasar akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan penyelidikan tanah dengan teliti. Pemeriksaan dengan menggunakan alat bor dapat memberikan gambaran yang jelas tentang lapisan tanah di bawah lapis tanah dasar.
- Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air. Hal ini dapat dikurangi dengan memadatkan tanah pada kadar air optimum mencapai kepadatan tertentu sehingga perubahan volume yang mungkin terjadi dapat dikurangi. Kondisi drainase yang baik dapat menjaga kemungkinan berubahnya kadar air pada lapisan tanah dasar.
- Daya dukung yang tidak merata akibat pelaksanaan yang kurang baik. Hal ini akan lebih buruk pada tanah dasar dari jenis tanah berbutir kasar dengan adanya tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas ataupun akibat berat tanah dasar itu sendiri (pada tanah dasar tanah timbunan). Hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengawasan yang baik pada saat pelaksanaan pekerjaan tanah dasar.
- Kondisi geologis dari lokasi jalan perlu dipelajari dengan teliti, jika ada kemungkinan lokasi jalan berbeda pada daerah patahan, dan lain sebagainya.

## ***Bab 3 Material Konstruksi Perkerasan Lentur***

### **3.1. TANAH DASAR**

Perkerasan jalan diletakkan di atas tanah dasar, dengan demikian secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri atau di dekatnya yang telah dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat. Sifat masing-masing jenis tanah tergantung dari tekstur, kepadatan, kadar air, kondisi lingkungan, dan sebagainya. Untuk mempermudah mempelajari dan membicarakan sifat-sifat tanah yang akan dipergunakan sebagai bahan tanah dasar jalan, tanah itu dikelompokkan berdasarkan sifat plastisitas dan ukuran butirnya. Daya dukung tanah dasar dapat diperkirakan dengan mempergunakan hasil klasifikasi ataupun dari pemeriksaan CBR, pembebanan pelat uji dan sebagainya.

#### **3.1.1. KLASIFIKASI TANAH**

Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam teknik jalan raya adalah sistem Unified dan sistem AASHTO.

##### **Sistem Unified**

Sistem ini dikembangkan oleh Casagrande yang pada garis besarnya membedakan tanah atas 3 (tiga) kelompok besar yaitu :

- Tanah berbutir kasar, < 50 % lolos saringan No. 200. Secara visual butir-butir tanahnya berbutir kasar dan dapat dilihat oleh mata.
- Tanah berbutir halus, > 50 % lolos saringan No. 200. Secara visual butir-butir tanahnya halus tak dapat dilihat oleh mata.
- Tanah organik, dapat dikenal dari warna, bau dan sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Sifat teknis tanah berbutir kasar ditentukan oleh ukuran butir dan gradasi butirnya. Oleh karena itu tanah berbutir kasar dikelompokkan berdasarkan ukuran butir dan bentuk gradasi butir tanahnya. Tanah bergradasi baik dimana campuran antara butir-butir halus dan kasar seimbang akan memberikan kepadatan yang lebih baik dibandingkan dengan tanah berbutir seragam. Tanah berbutir halus lebih ditentukan oleh sifat plastisitas tanahnya, sehingga pengelompokan tanah berbutir halus dilakukan berdasarkan ukuran butir dan sifat plastisitas tanahnya. Tanah yang berplastisitas tinggi mempunyai daya dukung yang kurang baik dan peka terhadap perubahan yang terjadi. Klasifikasi tanah sistem Unified dilakukan dengan huruf-huruf seperti :

- G : kerikil (gravel)
- S : pasir (sand)
- M : lanau (silt/moam)
- C : lempung (clay)
- W : bergradasi baik (well graded)
- P : bergradasi buruk (poor graded)
- U : bergradasi seragam (uniform graded)
- L : plastisitas rendah (low liquid limit)
- H : plastisitas tinggi (high liquid limit)
- O : organik (organic).

Kombinasi dari huruf-huruf ini menggambarkan satu jenis tanah, seperti GP menunjukkan tanah kerikil dengan gradasi buruk.

## A. Prosedur Klasifikasi di Laboratorium

*Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan atas :*

- a. Kerikil (G), untuk butir-butir tanah < 50 % lolos saringan No. 4 dan < 50 % lolos saringan No. 200.

Kerikil dapat dibedakan atas :

- Kerikil “bersih”, sangat sedikit mengandung butir-butir halus (< 5 % lolos saringan No. 200). Kerikil “bersih” dibagi pula menjadi :

GW, jika  $C_u > 4$  dan  $C_z$  antara 1 dan 3

GP, jika  $C_u$  ( 4 dan  $C_z$  tidak diantara 1 dan 3.

$C_u$  dan  $C_z$  ditentukan dari :

$$C_u = D_{60} / D_{10} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_z = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$D_{60}$  : diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 60 %.

$D_{30}$  : diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 30 %.

$D_{10}$  : diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 10 %.



- Kerikil bercampur cukup banyak butiran-butir halus ( $> 12\%$  lolos saringan No. 200), selanjutnya dibedakan atas jenis butiran halus yang dikandungnya. GC jika jenis butiran halusnya lempung dan GM jika butiran halusnya lanau. Jenis butiran halus tersebut dapat dibedakan dengan menggunakan grafik Casagrande. Jika hubungan antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) terletak di atas garis A dan plastisitas indeks  $> 7$  (lihat lampiran : gambar 3.13) maka butiran halus yang dikandungnya merupakan butiran lempung (C) dan jika terletak di bawah garis A merupakan butiran lanau (M). Sedangkan jika terletak tepat pada garis A, butiran halus tersebut adalah butiran lempung dan butiran lanau, berarti jenis tanahnya GM - GC.
  - Kerikil dengan sedikit butiran halus ( $> 5\%$  tetapi  $< 12\%$  lolos saringan No. 200), merupakan jenis tanah dengan dua simbol. Simbol pertama berdasarkan gradasi dan simbol kedua berdasarkan jenis butiran halus yang dikandungnya. Dengan demikian dapat dibedakan menjadi GP-GM, GP-GC, GW-GM dan GW-GC. Yang terakhir berarti butiran kecil bergradasi baik dengan butiran halus dari jenis lempung.
- b. Pasir (S), butiran tanah  $> 50\%$  lolos saringan No. 4 dan  $< 50\%$  lolos saringan No. 200. Sama halnya dengan kerikil, pasir pun dapat dibedakan atas :
- Pasir “bersih”, yang terdiri atas :  
SW, jika  $C_u > 6$  dan  $C_z$  antara 1 dan 3 serta SP jika nilai  $C_u$  dan  $C_z$  tidak memenuhi nilai untuk SW.
  - Pasir bercampur cukup banyak butiran halus ( $> 12\%$  lolos saringan No. 200), dibedakan atas SC, SM, SC-SM. Perbedaan tersebut diperoleh dengan menggunakan grafik Casagrande. C (lempung), jika hubungan antara batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) terletak di atas garis A dan indeks plastis  $> 7$ , M (lanau) jika terletak di bawah garis A, M dan C jika terletak pada garis A.
  - Pasir yang bercampur sedikit butiran halus ( $> 5\%$  tapi  $< 12\%$  lolos saringan No. 200) merupakan tanah dengan dua simbol. Simbol pertama berdasarkan gradasi dan simbol kedua berdasarkan jenis butiran halus yang dikandungnya. Dengan demikian dapat dibedakan menjadi SP-SM, SP-SC, SW-SM dan SW-SC.

*Kelompok tanah berbutir halus dapat dibedakan atas :*

- a. Lanau (M), merupakan jenis tanah  $> 50\%$  lolos saringan No. 200 dan terletak di bawah garis A pada grafik Casagrande yang bukan merupakan tanah organis. Tanah lanau ini dibedakan atas :
  - Tanah lanau berplastisitas rendah, ML (jika batas cair  $< 50\%$ )
  - Tanah lanau berplastisitas tinggi, MH (jika batas cair  $> 50\%$ ).
- b. Lempung (C), merupakan jenis tanah  $> 50\%$  lolos saringan No. 200 dan terletak di atas garis A pada grafik Casagrande dan indeks plastisitas  $> 7\%$ . Berdasarkan batas cairnya, lempung dapat dibedakan atas :
  - lempung berplastisitas rendah, CL (batas cair  $< 50\%$ )
  - lempung berplastisitas tinggi, CH (batas cair  $> 50\%$ ).

- c. Lempung dan lanau dapat pula merupakan suatu campuran tanah yang mempunyai dua simbol, yaitu simbol lempung dan lanau berplastisitas rendah (CL-ML). Hal ini ditemukan jika indeks plastisitas tanahnya antara 4 dan 7 dan berada di atas garis A atau semua jenis tanah berbutir halus yang terletak pada garis A.

#### *Kelompok tanah organis*

Tanah organis (PT = peat/humus), merupakan jenis tanah berbutir halus yang dapat dibedakan secara visual ataupun laboratorium. Secara laboratorium dapat ditentukan jika batas cair dari contoh tanah sebelum dioven dengan batas cair dari contoh tanah yang telah dioven selama 24 jam dengan temperatur 110 °C berbeda sebanyak > 25 %. Secara visual dapat diketahui dari bau tanaman/humus dan berwarna hitam.

Bagan alir prosedur klasifikasi Sistem Unified di laboratorium ditunjukkan pada gambar 3.14 (lihat lampiran).

### **B. Prosedur Klasifikasi di Lapangan**

Klasifikasi Sistem Unified secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga perlu sebagai pelengkap klasifikasi yang dilakukan di laboratorium serta dapat dipergunakan untuk mengontrol apakah pada contoh tanah tidak terjadi kesalahan label. Tanah lempung dan tanah lanau dapat dibedakan dengan menggunakan sifat dilatasi, kekuatan kering dan keteguhan. Klasifikasi visual dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah pada Tabel 3.1. dari kiri ke kanan sebagai berikut :

**Tabel 3.1. Klasifikasi Tanah Sistem Unified (Visual)**

SIMBOL	PROSEDUR IDENTIFIKASI LAPANGAN (TIDAK TERMASUK PARTIKEL YANG BERUKURAN >3" DAN BERAT FRAKSINYA DIPERKIRAKAN)	KETERANGAN YANG DI- PERLUKAN DALAM ME- NGANALISA TANAH
GW	Ukuran butirnya bervariasi dan banyak mengandung partikel berukuran sedang	Untuk tanah tidak terganggu diperlukan keterangan tambahan seperti perlapisan, tingkat kepadatan, segmentasi, kondisi kadar air dan karakteristik drainase.  Berikan nama jelas tanahnya, perkiraan % pasir dan kerikil, ukuran butir maksimum, bentuk Butir, kondisi permukaan, kekerasan tanah berbutir kasar, nama setempat atau Nama geologi, dan keterangan lain untuk kepentingan deskripsi serta simbol huruf kapital
GP	Umumnya ukuran butirnya sama atau sedikit mengandung partikel berukuran sedang	
GM	Bahan halus non plastis atau plastisitasnya rendah (lihat prosedur identifikasi ML)	
GC	Bahan halus plastis (lihat prosedur identifikasi CL)	
SW	Ukuran butirnya bervariasi dan banyak mengandung partikel ukuran sedang	

SP	Umumnya ukuran butirnya sama atau sedikit mengandung partikel ukuran sedang			
SM	Umumnya ukuran butirnya sama atau sedikit mengandung partikel ukuran sedang			
SC	Bahan halusnya plastis (lihat prosedur identifikasi CL)			
	<b>PROSEDUR IDENTIFIKASI UNTUK FRAKSI LEBIH HALUS DARI SARINGAN No. 4</b>			Berikan nama jenis tanahnya, tingkat dan plastisitas jumlah dan ukuran maksimum dari tanah berbutir kasar, warna dan kondisi basah, bau bila ada, nama setempat atau nama geologi dan keterangan lainnya untuk kepen-tingan deskripsi serta simbol tanah dengan huruf kapital. Untuk tanah tidak terganggu diperlukan keterangan tambahan seperti struktur, pelapisan, konsistensi dalam keadaan tidak terganggu dan remasan, kondisi kadar air dan drainase.
	Kekuatan kering (karakteristik pecah) goncangan)	Dilatasi (Reaksi terhadap mendekati batas plastis)	Keteguhan (Konsistensi)	
ML	Nol sampai rendah	Lambat sampai cepat	nol	
CL	Rendah sampai tinggi	lambat	sedang	
OL	Rendah sampai sedang	lambat	rendah	
MH	Rendah sampai sedang	Tidak beraksi sampai sangat lambat	Rendah sampai sedang	
CH	Tinggi sampai sangat tinggi	Tidak bereaksi	tinggi	
OH	Sedang sampai tinggi	Tidak bereaksi sampai sangat lambat	Rendah sampai sedang	
Pt	Secara langsung dapat diidentifikasi dari warna, bau, Rasanya seperti bunga karangan seringkali teksturnya berbentuk serat			

### Sistem Klasifikasi AASHTO

Menurut sistem ini tanah dibagi menjadi 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan, karena kelompok ini memang tidak stabil sebagai bahan lapisan perkerasan. Pada garis besarnya tanah dikelompokkan menjadi 2(dua) kelompok besar yaitu kelompok tanah berbutir kasar (< 35 % lolos saringan No. 200) dan tanah berbutir halus (> 35 % lolos saringan No. 200).

Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan atas :

A-1, adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir-butir halus, dengan atau tanpa sifat-sifat plastis.

A-2, sebagai kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Kelompok A-2 ini terdiri dari campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (< 35 %).

A-3, adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir-butir halus lolos saringan No. 200 dan tidak plastis.

Kelompok tanah berbutir halus dibedakan atas :

A-4, adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.

A-5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari kelompok A-4.

A-6, adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.

A-7, adalah kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Untuk dapat membedakan kemampuan memikul beban roda dari jenis tanah yang satu dengan yang lain dalam satu kelompok tanah, AASHTO mempergunakan "group indeks" yang dibuat berdasarkan asumsi sebagai berikut :

1. Semua kelompok yang termasuk dalam kelompok A-1, A-2 dan A-3 kecuali A-2-6 dan A-2-7 adalah kelompok tanah yang baik untuk tanah dasar jalan ataudapat digunakan sebagai tanah dasar jalan dengan penambahan sedikit bahan pengikat.
2. Material pada kelompok lain termasuk A-2-6 dan A-2-7 merupakan material yang kualitasnya sebagai tanah dasar berkurang dari A-2-5 sehingga membutuhkan lapisan pondasi bawah atau penambahan tebal lapisan pondasi atas.
3. Anggapan bahwa batasan tanah berbutir halus adalah 35 % lolos saringan No. 200 dan mengabaikan sifat plastisitasnya.
4. Anggapan bahwa batas cair (liquid limit) adalah 40 %.
5. Anggapan bahwa batasan indeks plastis adalah 10 %.

Dengan berdasarkan anggapan-anggapan di atas grup indeks ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$GI = (F-35)\{0,2 + 0,005 (LL - 40)\} + 0,01 (F-15)(PI -10) \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

GI : grup indeks

F : jumlah persen lolos saringan No.200 berdasarkan material yang lolos saringan 3"

LL : batas cair

PI : indeks plastis.

Grup indeks dinyatakan dengan bilangan bulat dan dituliskan dalam kurung di belakang kelompok jenis tanahnya. Jika grup indeks yang diperoleh negatif, dituliskan sebagai bilangan nol. Jika  $> 20$ , ditulis sebagai bilangan 20, misalnya A-1-a (0). Kualitas tanah sebagai tanah dasar konstruksi jalan berbanding terbalik dengan GI. Tanah dengan kelompok yang sama tetapi mempunyai grup indeks yang lebih kecil menunjukkan tanah yang lebih baik sebagai tanah dasar jalan. A-1-a(0) lebih baik sebagai tanah dasar dibandingkan dengan A-1-a (3).

### 3.1.2. KEPADATAN DAN DAYA DUKUNG TANAH

Beban kendaraan yang dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya dan akhirnya diterima oleh tanah dasar. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatan dari lapisan perkerasan tetapi juga oleh tanah dasar. Daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase, dan lain-lain. Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi mengalami perubahan volume yang kecil jika terjadi perubahan kadar air dan mempunyai daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah yang sejenis dengan tingkat kepadatan lebih rendah. Tingkat kepadatan dinyatakan dalam persentase berat volume kering ((pk) tanah terhadap berat volume kering maksimum (pk maks). Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan pemeriksaan kepadatan standar (standard proctor) sesuai dengan AASHTO T99-74 atau PB-0111, atau dengan menggunakan pemeriksaan kepadatan berat (modified proctor) sesuai AASHTO T180-74 atau PB-0112-76.

Daya dukung tanah dasar (subgrade) pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (California Bearing Ratio). CBR pertama kali diperkenalkan oleh California Division of Highways pada tahun 1928. Orang yang banyak mempopulerkan metode ini adalah O.J. Porter. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar  $0,1"/0,2"$  dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi  $0,1"/0,2"$ . Harganya dinyatakan dalam persen. Jadi harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban lalu lintas.

#### Penentuan Besarnya CBR

Alat percobaan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch. Piston digerakkan dengan kecepatan 0,05 inch/menit secara vertikal ke bawah. Proving ring digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (dial). Gambar 3.15. memperlihatkan alat CBR yang digunakan di laboratorium (lihat lampiran).

Beban yang digunakan untuk melakukan penetrasi bahan standar adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2.** Beban yang dibutuhkan untuk melakukan penetrasi bahan standar

Penetrasi (inch)	Beban Standar (lbs)	Beban Standar (lbs/inch <sup>2</sup> )
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	2600

Dari hasil pemeriksaan dibuat suatu grafik hubungan antara beban dan penetrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16. (lihat lampiran). Perlu diperhatikan bentuk lengkung yang diperoleh. Jika lengkung yang diperoleh seperti lengkung 1 (awal lengkung merupakan garis lurus), maka :

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{X}{(3000)} = a \%$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{Y}{(4500)} = b \%$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara a & b.

Jika lengkung yang diperoleh seperti lengkung 2 (awal lengkung merupakan lengkung-lengkung cekung), maka :

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{X}{(3000)} = a_1 \%$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{Y}{(4500)} = b_1 \%$$

Nilai CBR adalah nilai yang terbesar antara a<sub>1</sub> dan b<sub>1</sub>, x<sub>1</sub> dan y<sub>1</sub> diperoleh dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tarik garis singgung pada garis lengkung sehingga memotong sumbu absis.
2. Geser titik yang menunjukkan penetrasi 0,1'' dan 0,2'' ke kanan sejauh a (gambar 3.16), titik-titik tersebut menjadi titik 0,1'' dan 0,2''.

### Jenis CBR

Berdasarkan cara mendapatkan sampel tanahnya CBR dapat dibagi atas :

- CBR lapangan
- CBR lapangan rendaman
- CBR rencana titik.

## **CBR Lapangan**

Disebut juga CBR inplace atau field CBR, yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. Umum digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
- b. Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan untuk tujuan ini tidak umum digunakan, lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti sand cone, dan sebagainya.

Pemeriksaan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR hendak ditentukan, lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gandar truk.

## **CBR Lapangan Rendaman (Undisturb Soaked CBR)**

Gunanya untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan (swell) yang maksimum. Pemeriksaan dilaksanakan pada kondisi tanah dasar tidak dalam keadaan jenuh. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi, terletak di daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim hujan dan kering pada musim kemarau. Pemeriksaannya dilakukan pada musim kemarau, dengan cara mengambil contoh tanah dalam mold yang ditekan masuk ke dalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Mold berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama 4 (empat) hari sambil diukur pengembangannya (swelling). Setelah pengembangan tidak terjadi lagi barulah dilaksanakan pemeriksaan CBR.

## **CBR Rencana Titik**

Disebut juga CBR laboratorium atau design CBR. Tanah dasar (subgrade) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95 % kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. Berarti nilai CBR nya adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut juga CBR laboratorium. CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 (dua) macam yaitu CBR laboratorium rendaman (soaked design CBR) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (unsoaked design CBR). Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penyiapan contoh tanah adalah :

1. Jenis tanah dasar itu sendiri, apakah tanah berbutir halus dengan plastisitas rendah, tanah berbutir halus dengan plastisitas tinggi atau tanah berbutir kasar. Hal ini sehubungan dengan sifat tanah tersebut dalam menahan air dan efeknya terhadap pengembangan.

2. Elevasi rencana dari tanah dasar itu sendiri, apakah pada tanah galian, tanah timbunan atau sesuai dengan muka tanah asli. Contoh tanah diambil dari bagian tanah yang direncanakan sebagai lapisan tanah dasar (subgrade) berarti contoh tanah berasal dari :
  - a. Permukaan tanah tersebut jika tanah dasar tanah asli
  - b. Material yang nantinya akan digunakan sebagai bahan timbunan jika tanah dasar di atas tanah timbunan
  - c. Berasal dari lubang bor atau test-pit yang mencapai elevasi yang direncanakan jika tanah dasar adalah tanah galian. Pada galian yang cukup dalam dimana contoh tanah diperoleh dengan pemboran, besarnya CBR ditentukan secara empiris.
3. Tinggi muka air tanah ditinjau dari elevasi tanah dasar. Hal ini sehubungan dengan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan.
4. Fasilitas drainase yang akan disediakan, sehubungan dengan kadar air tanah di musim hujan.
5. Peralatan pemadatan yang nanti akan digunakan, sehubungan dengan energi yang dipergunakan untuk penyiapan contoh tanah dasar.
6. Curah hujan pada lokasi, mempengaruhi tinggi muka air tanah dan fasilitas drainase, berarti mempengaruhi jenis pemeriksaan yang dilakukan.

Dari uraian di atas terlihat bahwa faktor-faktor tersebut di atas berkaitan dengan kadar air yang mungkin akan terjadi selama umur rencana jalan dan besarnya energi yang akan diberikan pada saat pemadatan penyiapan tanah dasar. Pemeriksaan CBR mengikuti AASHTO T193 atau mengikuti modifikasi-modifikasi yang ada.

### Menaksir Harga CBR Secara Empiris

Pada tanah dasar rencana yang merupakan tanah dasar galian yang cukup dalam, pengambilan contoh tanah sebanyak yang dibutuhkan untuk pemeriksaan CBR sulit diperoleh. Contoh tanah biasanya diperoleh dengan menggunakan alat bor. Untuk itu penentuan besarnya nilai CBR rencana dapat dilakukan dengan menggunakan cara empiris yang hanya berdasarkan analisa butir dan sifat plastisitas tanah. Tetapi data CBR ini hanyalah merupakan perkiraan yang selalu harus diamati pada tahap pelaksanaan. Perkiraan nilai CBR berdasarkan klasifikasi tanah dapat dilihat pada gambar 3.17. (lihat lampiran).

### CBR Rencana Rendaman

Berdasarkan hasil analisa butir dan sifat plastisitas tanah, CBR rencana rendaman (soaked design CBR) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yang diambil dari NAASRA sebagai berikut :

$$1. \log C_s = 1,7 - 0,005 P_{0,425} + 0,002 P_{0,075} - L (0,02 + 0,0004 P_{0,075}) \dots\dots\dots (4)$$

$$2. \log C_s = 1,9 - 0,004 P_{2,36} - 0,005 P_{0,425} + \frac{P_{0,075}}{P_{0,425}} \left[ \frac{5,2 - 0,5 P_{0,075}}{P_{0,425}} \right]^{10^{-3}} - 0,01 I \dots\dots\dots (5)$$



dimana :

- $C_s$  = CBR rendaman  
 $P_{2,36}$  = persen lolos saringan 2,36 mm  
 $P_{0,425}$  = persen lolos saringan 0,425 mm  
 $P_{0,075}$  = persen lolos saringan 0,075 mm  
 $L$  = batas susut (shrinkage limit), dalam %  
 $I$  = indeks plastisitas, dalam %.

Dari kedua persamaan di atas dapat diperoleh CBR tanah dasar yang akan digunakan untuk perencanaan dengan menggunakan rumus :

$$C_{ss} = (3 C_s \text{ min} + C_s \text{ maks}) 0,25 \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

- $C_{ss}$  = nilai CBR rendaman yang digunakan untuk perencanaan  
 $C_s \text{ min}$  = harga terendah dari nilai yang diperoleh pada pers (4) dan (5)  
 $C_s \text{ maks}$  = harga tertinggi dari nilai yang diperoleh pada pers (4) dan (5).

### **Menentukan Nilai CBR Lapangan dengan Menggunakan Data DCP**

Nilai CBR lapangan dapat juga diperoleh dengan menggunakan hasil pemeriksaan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) yang mulai dipergunakan di Indonesia sejak tahun 1985/1986. Pemeriksaan dengan alat DCP menghasilkan data kekuatan tanah sampai kedalaman 90 cm di bawah tanah dasar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat seperti pada gambar 3.20 (lihat lampiran). Pemberat seberat 20 lb (9,07 kg) dijatuhkan dari ketinggian 20 inch (50,80) cm melalui sebuah tiang berdiameter 5/8 inch (16 mm). Ujung baja berbentuk kerucut dengan luas 0,5 sq.inch (1,61 cm<sup>2</sup>) bersudut 300 atau 600. Di Indonesia umumnya digunakan 300.

Hasil pemeriksaan dinyatakan dengan :

1. Penetrabilitas Skala Penetrometer (SPP), yaitu mudah atau tidaknya melakukan penetrasi ke dalam tanah, yang dinyatakan dalam cm/tumbukan.
2. Tahanan Penetrasi Skala (SPR), yaitu sukar atau tidaknya melakukan penetrasi ke dalam tanah yang dinyatakan dalam tumbukan/cm.

$$SPR = \frac{1}{SPP}$$

Data lapangan umumnya dinyatakan dalam SPP, tetapi dalam analisa data dipergunakan SPR. Korelasi dengan nilai CBR diperoleh dengan mempergunakan kertas transparan seperti

pada gambar 3.19. Kertas transparan tersebut digeser-geserkan dengan tetap menjaga sumbu grafik pada kedua gambarsejajar sehingga diperoleh garis komulatif tumbukan berimpit dengan salah satu garis pada kertas transparan (lihat gambar 3.18 pada lampiran). Nilai yang ditunjukkan oleh garis tersebut merupakan nilai CBR lapangan pada kedalaman tersebut. Tetapi korelasi ini sebaiknya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari hasil pengujian CBR dengan nilai DCP yang berdekatan dengan lokasi dimana CBR tersebut dilaksanakan.

### **3.2. AGREGAT**

Agregat (aggregate) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. ASTM (1974) mendefinisikan agregat/batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang mengandung 90 - 95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75 - 85 % agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

#### **3.2.1. Klasifikasi Agregat**

A. Ditinjau dari **Asal Kejadiannya**, agregat/batuan dapat dibedakan atas batuan beku (igneous rock), batuan sedimen dan batuan metamorf (batuan malihan).

##### **Batuan Beku (Igneous Rock)**

Igneous rock adalah batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku, yang dapat dibedakan atas batuan beku luar (extrusive igneous rock) dan batuan beku dalam (intrusive igneous rock). Batuan beku luar dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus yang akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian dan sebagainya. Batuan beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan, bertekstur kasar dan dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan gerakan bumi. Batuan beku jenis ini antara lain granit, gabbro, diorit, dan sebagainya.

##### **Batuan Sedimen**

Sedimen dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya. Berdasarkan cara pembentukannya, batuan sedimen dapat dibedakan atas :

1. Batuan sedimen yang dibentuk secara mekanik lempung, dan lain-lain. Batuan ini banyak mengandung silica.
2. Batuan sedimen yang dibentuk secara organis seperti batu gamping, batu bara, opal dan lain-lain.
3. Batuan sedimen yang dibentuk secara kimiawi seperti batu gamping, garam, gips, flint, dan sebagainya.

## **Batuan Metamorf**

Berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas batuan metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit dan batuan metamorf yang berfoliasi/berlapis seperti batu sabak, filit, dan sekis.

- B. Berdasarkan **Proses Pengolahannya**, agregat yang dipergunakan pada perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat alam, agregat yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat buatan.

### **Agregat Alam**

Agregat yang dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan dinamakan agregat alam yang terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel-partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat di bukit-bukit membentuk partikel-partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang serung dipergunakan adalah kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel  $> 1/4$  inch (6,35 mm), pasir adalah agregat dengan ukuran partikel  $< 1/4$  inch tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No. 200). Berdasarkan tempat asalnya agregat alam dapat dibedakan atas pitrun yaitu agregat yang diambil dari tempat terbuka di alam dan bankrun yaitu agregat yang berasal dari sungai (endapan sungai).

### **Agregat yang Melalui Proses Pengolahan**

Di gunung-gunung atau di bukit-bukit sering ditemui agregat masih berbentuk gunung, sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Di sungai sering juga diperoleh agregat berbentuk besar-besar melebihi ukuran yang diinginkan. Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh bentuk partikel bersudut (diusahakan berbentuk kubus), permukaan partikel yang kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik serta gradasi sesuai yang diinginkan. Proses pemecahannya sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (stone crusher) sehingga ukuran agregat yang dihasilkan dapat terkontrol, berarti gradasi yang diharapkan dapat dicapai sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

### **Agregat Buatan**

Yang dimaksud dengan agregat buatan di sini adalah agregat yang merupakan mineral filler (partikel dengan ukuran  $< 0,075$  mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu (*stone crusher*).

C. Berdasarkan Ukuran Partikel-Partikelnya, agregat dapat dibedakan atas :

- Agregat kasar, yaitu agregat  $> 4,75$  mm menurut ASTM atau  $> 2$  mm menurut AASHTO.
- Agregat halus, yaitu agregat  $< 4,75$  mm menurut ASTM atau  $< 2$  mm dan  $> 0,075$  mm menurut AASHTO.
- Abu batu/mineral filler, yaitu agregat halus yang umumnya lolos saringan No. 200.

### 3.2.2. Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu :

1. Kekuatan dan keawetan (strength and durability) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (toughness and durability) bentuk butir serta tekstur permukaan.
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (skid resistance) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (bituminous mix workability).

## Gradasi dan Ukuran Maksimum

### Gradasi

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup. Analisa saringan dapat dilakukan dengan menggunakan analisa kering atau analisa basah. Analisa kering mengikuti AASHTO T27-82 sedangkan analisa basah mengikuti AASHTO T11-82. Analisa basah umum digunakan jika agregat yang akan disaring mengandung butir-butir halus sehingga fraksi butir-butir halus dapat terdeteksi dengan baik. Jika agregat kasar itu “bersih”, tidak/sedikit sekali mengandung butir halus dapat digunakan analisa kering. Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (uniform graded), adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat

dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, dan berat volume kecil.

2. Gradasi rapat (*dense graded*), merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*). Agregat dinamakan bergradasi baik jika persen yang lolos setiap tapis dari sebuah gradasi memenuhi :

$$P = 100 \left[ \frac{d}{D} \right]^{0,45}$$

dimana :

P = persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = ukuran maksimum partikel dalam gradasi tersebut.

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek, dan berat volume besar.

3. Gradasi buruk (*poorly graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi 2 kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*), merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang, sering disebut juga gradasi senjang. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh ketiga gradasi tersebut di atas dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3.** Sifat-sifat beberapa jenis agregat

<b>Gradasi Seragam</b> ( <i>Uniform Graded</i> )	<b>Gradasi Baik</b> ( <i>Dense Graded</i> )	<b>Gradasi Jelek</b> ( <i>Poorly Graded</i> )
– kontak antar butir baik	– kontak antar butir baik	– kontak antar butir jelek
– Kepadatan bervariasi tergantung dari segregasi yang terjadi	– Seragam dan kepadatan tinggi	– Seragam tetapi kepadatan jelek
– Stabilitas dalam keadaan terbatas ( <i>confined</i> ) tinggi	– Stabilitas tinggi	– Stabilitas sedang

<b>Gradasi Seragam</b> ( <i>Uniform Graded</i> )	<b>Gradasi Baik</b> ( <i>Dense Graded</i> )	<b>Gradasi Jelek</b> ( <i>Poorly Graded</i> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stabilitas dalam keadaan lepas rendah</li> <li>– Sulit dipadatkan</li> <li>– Mudah diresapi air</li> <li>– Tidak dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kuat menahan deformasi</li> <li>– Sukar sampai sedang dalam usaha untuk memadatkannya</li> <li>– Tingkat permeabilitas cukup</li> <li>– Pengaruh variasi kadar air cukup</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stabilitas sangat rendah dalam keadaan basah</li> <li>– Mudah dipadatkan</li> <li>– Tingkat permeabilitas rendah</li> <li>– Sangat dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air</li> </ul>

### **Ukuran Maksimum Partikel Agregat**

Semua lapisan perkerasan lentur membutuhkan agregat yang terdistribusi dari besar sampai kecil, semakin besar ukuran maksimum partikel agregat yang digunakan semakin banyak variasi ukuran dari besar sampai kecil yang dibutuhkan. Batasan ukuran maksimum yang digunakan dibatasi oleh tebal lapisan yang diharapkan. Penggunaan partikel agregat dengan ukuran besar menguntungkan karena :

- Usaha untuk pemecahan partikel lebih sedikit, sehingga biayanya lebih murah.
- Luas permukaan yang harus diselimuti aspal lebih sedikit sehingga kebutuhan akan aspal berkurang.

Disamping keuntungan tersebut di atas, pemakaian agregat dengan ukuran besar memberikan sifat-sifat yang kurang baik antara lain :

- Kemudahan pelaksanaan pekerjaan berkurang
- Segregasi bertambah besar
- Mungkin terjadi gelombang melintang (raveling).

Terdapat 2 (dua) cara untuk menyatakan ukuran partikel agregat yaitu dengan :

- Ukuran maksimum, merupakan ukuran tapis/ayakan terkecil dimana agregat tersebut lolos 100 %.
- Ukuran nominal maksimum, merupakan ukuran tapis terbesar dimana agregat tertahan tapis tidak lebih dari 10 %.

Perbedaan kedua ukuran tersebut dapat diilustrasikan dengan contoh sebagai berikut :

Dari contoh agregat yang akan dipergunakan untuk campuran lapisan perkerasan diperoleh data bahwa partikel agregat 100 % lolos saringan 1". Partikel terbesar tertahan

saringan 3/4" yang diletakkan di bawah saringan 1". Dikatakan bahwa ukuran maksimum agregat adalah 1" dan ukuran nominal maksimum adalah 3/4".

### Kadar Lempung

Lempung mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal karena :

- Lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dan aspal berkurang.
- Adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah. Dengan kadar aspal yang sama akan menghasilkan tebal lapisan yang lebih tipis yang dapat mengakibatkan terjadinya stripping yaitu lepasnya ikatan antara aspal dan agregat.
- Tipisnya lapisan aspal mengakibatkan lapisan mudah teroksidasi sehingga lapisan cepat rapuh/getas.
- Lempung cenderung menyerap air yang berakibat hancurnya lapisan aspal.

Penentuan kadar lempung yang terdapat dalam campuran agregat umumnya dilakukan dengan cara :

- **Atterberg Limit**, dilakukan untuk campuran agregat tanpa bahan pengikat. Atterberg limit yang umum dipergunakan adalah batas cair yang mengikuti prosedur PB-0109-76 atau AASHTO T89-81 dan Indeks Plastis mengikuti prosedur PB-0110-76 atau AASHTO T-90-81, dilakukan untuk contoh tanah lolos saringan No. 40 dengan menggunakan alat Cassagrande (lihat lampiran, gambar 3.23.).
- **Sand Equivalent Test**, dilakukan untuk partikel agregat yang lolos saringan No. 4 sesuai prosedur AASHTO T176-73 (1982) dengan menggunakan tabung dari kaca. Contoh tanah sebanyak 150 gr dimasukkan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  dan diendapkan selama 10 menit. Selanjutnya tabung yang telah ditutup dengan tutup karet tersebut dikocok dalam arah mendatar sebanyak 90 kali. Larutan ditambah sampai skala 15 dan dibiarkan selama 20 menit. Setelah itu dibaca skala pasir dan skala lumpur.

$$\text{Nilai SE} = \frac{\text{skala pasir}}{\text{skala lumpur}} \times 100\%$$

Nilai sand equivalent dari partikel agregat yang dapat dipergunakan untuk bahan konstruksi perkerasan jalan adalah  $> 50\%$ .

### Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis ataupun hujan. Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun oleh beban lalu lintas. Sedangkan disintegrasi didefinisikan sebagai

pelapukan pada agregat menjadi butir-butir halus akibat pengaruh kimiawi seperti kelembaban, kepanasan ataupun perbedaan temperatur sehari-hari. Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan haruslah mempunyai daya tahan terhadap degradasi (pemecahan) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan disintegrasi (penghancuran) yang terjadi selama masa pelayanan jalan tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi adalah :

- Gradasi, gradasi terbuka (open graded) mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi rapat (dense graded).
- Jenis agregat, agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras.
- Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.
- Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel besar.
- Bentuk partikel, partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar daripada yang berbentuk kubus (bersudut).

### **Penentuan Tingkat Ketahanan**

Ketahanan agregat terhadap degradasi (penghancuran) diperiksa dengan menggunakan percobaan Abrasi Los Angeles (Abrasion Los Angeles Test), berdasarkan PB-0206-76, AASHTO T96-77 (1982). Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles yang dapat dilihat pada lampiran-gambar 3.21. Agregat yang telah disiapkan sesuai gradasi dan berat yang ditetapkan, dimasukkan bersama bola-bola baja ke dalam mesin Los Angeles, lalu diputar dengan kecepatan 30 - 33 rpm selama 500 putaran. Nilai akhir dinyatakan dalam persen yang merupakan hasil perbandingan antara berat benda uji semula dengan berat benda uji tertahan saringan No. 12. Nilai tinggi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antara partikel dengan bola-bola baja. Nilai abrasi  $> 45\%$  menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan/material lapisan perkerasan. Nilai abrasi  $< 30\%$  menunjukkan bahwa agregat tersebut baik sebagai bahan lapis penutup. Nilai abrasi  $< 40\%$ , baik sebagai bahan lapis permukaan dan lapisan pondasi atas. Sedangkan nilai abrasi  $< 50\%$  menunjukkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan lapisan lebih bawah.

Ketahanan agregat terhadap disintegrasi (penghancuran) pada umumnya diperiksa dengan menggunakan pemeriksaan soundness. Pemeriksaan ketahanan terhadap cuaca ini dilakukan dengan percobaan soundness yaitu agregat direndam dalam natrium sulfat pekat atau sodium sulfat sampai jenuh, dicuci dan direndam kembali sebanyak 5 kali berdasarkan AASHTO T104-77 (1982). Larutan natrium sulfat masuk ke dalam pori-pori agregat dan akibat proses pengeringan, agregat yang tidak kuat akan hancur. Kehilangan berat akibat perendaman ini dinyatakan dalam persen. Agregat dengan soundness  $< 12\%$  menunjukkan agregat yang cukup tahan terhadap pengaruh cuaca dan dapat digunakan untuk lapisan permukaan. Besarnya nilai soundness juga dipengaruhi oleh jenis/mineral agregatnya.



## Bentuk dan Tekstur Agregat

Bentuk dan tekstur mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Partikel agregat dapat berbentuk :

- **Bulat (*rounded*)**, Agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan daya penguncian (*interlocking*) yang lebih kecil dan lebih mudah tergelincir. Lihat lampiran-Gbr. 3.22.
- **Lonjong (*elongated*)**, Partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya  $> 1,8$  kali diameter rata-rata. Indeks kelonjongan (*elongated index*) adalah perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat *interlocking*nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.
- **Kubus (*cubical*)**, Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, karena berbentuk bidang rata sehingga memberikan *interlocking* yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat berbentuk kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.
- **Pipih (*flaky*)**, Partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat dikatakan pipih jika lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi dengan berat total agregat yang tertahan pada ukuran nominal tersebut. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan ataupun akibat beban lalu lintas, oleh karena itu banyaknya agregat pipih ini dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.
- **Tak Beraturan (*Irregular*)**, Partikel agregat yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang telah disebutkan di atas. Gesekan yang timbul antar partikel juga menentukan stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Besarnya gesekan dipengaruhi oleh jenis permukaan agregat yang dapat dibedakan atas agregat yang permukaannya kasar (*rough*), agregat yang permukaannya halus (*smooth*), agregat yang permukaannya licin dan mengkilap (*glassy*) dan agregat yang permukaannya berpori (*porous*). Gesekan timbul terutama pada partikel-partikel yang permukaannya kasar, sudut geser dalam antar partikel bertambah besar dengan semakin bertambah kasarnya permukaan agregat. Disamping itu agregat yang lebih kasar lebih mampu menahan deformasi yang timbul dengan menghasilkan ikatan antar partikel yang lebih kuat. Pada campuran dengan aspal pun ikatan antara partikel-partikel dan lapisan aspal lebih baik pada permukaan kasar dibandingkan dengan permukaan halus. Agregat berpori akan menyerap aspal lebih banyak sehingga aspal yang menyelimuti agregat akan lebih tipis dan menyebabkan cepat lepasnya ikatan antara agregat dengan aspal, disamping itu agregat berpori umumnya lebih mudah pecah/hancur.

## Daya Lekat Terhadap Aspal (*Affinity for Asphalt*)

Faktor yang mempengaruhi lekatan aspal dan agregat dapat dibedakan atas 2 (dua) bagian yaitu :

1. Sifat mekanis yang tergantung dari :
  - pori-pori dan absorpsi
  - bentuk dan tekstur permukaan
  - ukuran butir.
2. Sifat kimiawi dari agregat.

Agregat berpori berguna untuk menyerap aspal sehingga ikatan antara aspal dan agregat baik. Tetapi terlalu banyak pori dapat mengakibatkan terlalu banyak aspal terserap yang berakibat lapisan aspal menjadi tipis. Banyaknya pori-pori ditentukan dari banyaknya air yang dapat terabsorpsi oleh agregat.

$$\text{Penyerapan (absorpsi)} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

dimana :

B<sub>k</sub> : berat benda uji kering oven

B<sub>j</sub> : berat benda uji kering permukaan jenuh.

Air yang telah diserap oleh agregat sukar untuk dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan sehingga mempengaruhi daya lekat aspal dengan agregat. Oleh karena itu besarnya absorpsi dibatasi 3 % untuk agregat yang akan digunakan untuk lapisan permukaan dengan pengikat aspal. Agregat berbentuk kubus dan kasar lebih baik mengikat aspal daripada agregat berbentuk bulat dan halus. Permukaan agregat yang kasar akan memberikan ikatan dengan aspal lebih baik daripada agregat dengan permukaan licin. Disamping hal tersebut di atas, daya lekatan dengan aspal juga dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan batuan yang mengandung silika merupakan agregat yang bersifat hydrophilic yaitu agregat yang senang terhadap air. Agregat demikian tidak baik untuk digunakan sebagai bahan campuran dengan aspal, karena mudah terjadi stripping yaitu lepasnya lapisan aspal dari agregat akibat pengaruh air. Sebaliknya agregat seperti diorit-andesit disebut agregat hydrophobic, yaitu agregat yang tidak mudah terikat dengan air sehingga ikatan antara aspal dengan agregat cukup baik dan stripping yang terjadi kecil sekali. Pemeriksaan terhadap daya lekat agregat dengan aspal dilakukan dengan percobaan stripping mengikuti PB 0205-76 atau AASHTO T182-82 yang dinyatakan dalam persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal untuk bahan campuran dengan aspal minimal 95 %.

### **Berat Jenis (*Spesific Gravity*)**

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

Berdasarkan manual PB 0202-76 atau AASHTO T85-81, penentuan berat jenis agregat dapat dibagi atas 3 (tiga) jenis yaitu :

#### **1. Berat Jenis Bulk (*Bulk Specific Gravity*)**

Adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah seluruh volume pori yang ada (volume pori yang dapat diresapi air dan volume pori yang tidak dapat diresapi air).

$$\text{Bulk SG} = \frac{W_s}{(V_p + V_i + V_s) \gamma_w}$$

dimana :

$V_p$  : volume pori yang dapat diresapi air

$V$  : volume total dari agregat

$V_i$  : volume pori yang tidak dapat diresapi air

$V_s$  : volume partikel agregat

$W_s$  : berat kering partikel agregat

$\gamma_w$  : berat volume air.

Jika dianggap aspal hanya menyelimuti bagian luar dari agregat maka digunakan bulk specific gravity.

#### **2. Berat Jenis Apparent (*Apparent Specific Gravity*)**

Jika volume yang diperhitungkan adalah volume partikel dan bagian yang dapat diresapi air, maka disebut berat jenis apparent. Penggunaan berat jenis ini dalam perhitungan jika dianggap aspal meresapi seluruh bagian agregat yang dapat diresapi oleh air.

$$\text{Apparent SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i) \gamma_w}$$

#### **3. Berat Jenis Efektif (*Effective Specific Gravity*)**

Pada kenyataannya aspal yang digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagian dari pori yang dapat diresapi oleh air, dengan demikian sebaiknya menggunakan berat jenis efektif.

$$\text{Effective SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_c + V_i)}$$

### **3.3. ASPAL**

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak (cair) sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/ penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil umumnya hanya 4 - 10 % berdasarkan berat atau 10 - 15 % berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Hydrocarbon adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil proses destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula dipergunakan aspal alam yang berasal dari Pulau Buton. Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi yang sering disebut sebagai aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap asam, basa dan garam. Ini berarti jika dibuatkan lapisan dengan mempergunakan aspal sebagai pengikat dengan mutu yang baik dapat memberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia yang lain. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh dan akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi (dikurangi) jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan.

#### **3.3.1. Proses Destilasi Minyak Bumi**

Aspal merupakan proses lanjutan dari residu hasil destilasi minyak bumi. Bensin (gasoline), minyak tanah (kerosine), solar (minyak diesel) merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda-beda. Setiap minyak bumi yang diproses menghasilkan residu yang terdiri dari bahan dasar aspal yang berbeda yaitu :

- Bahan dasar aspal (asphaltic base crude oil)
- Bahan dasar parafin (parafin base crude oil)
- Bahan dasar campuran (mixed base crude oil).

Bahan dasar parafin kurang mengandung bitumen, demikian juga bahan dasar campuran dimana kandungan kadar aspalnya rendah. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal yang diperoleh dari bahan dasar aspal.

#### **3.3.2. Jenis Aspal**

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas :

1. Aspal alam, dapat dibedakan atas :

- Aspal gunung (rock asphalt), misalnya aspal dari Pulau Buton.
  - Aspal danau (lake asphalt), misalnya aspal dari Bermuda, Trinidad.
2. Aspal buatan, yang terdiri atas :
- Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi.
  - Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara. Tidak umum digunakan sebagai bahan perkerasan jalan karena lebih cepat mengeras, peka terhadap perubahan temperatur dan beracun.

### **Aspal Minyak (*Petroleum Asphalt*)**

Aspal minyak dengan bahan dasar aspal dapat dibedakan atas :

1. Aspal keras/panas (asphalt cement, AC), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (suhu kamar).
2. Aspal dingin/cair (cut back asphalt), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin.
3. Aspal emulsi (emulsion asphalt), adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi. Dapat digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas. Aspal emulsi dan cutback asphalt umumnya digunakan pada campuran dingin atau pada penyemprotan dingin.

### **Aspal Keras/Cement (AC)**

Aspal semen pada temperatur ruang (25 °C - 30 °C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25 °C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya sebagai berikut :

1. AC pen 45/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40 - 50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60 - 70.
3. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85 - 100.
4. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120 - 150.
5. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200 - 300.

Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

### **Aspal Cair (*Cut Back Asphalt*)**

Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian cut back asphalt berbentuk cair dalam temperatur ruang. Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas :

1. RC (*Rapid Curing Cut Back*), merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin atau premium. RC merupakan cutback asphalt yang paling cepat menguap.
2. MC (*Medium Curing Cut Back*), merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti minyak tanah.
3. SC (*Slow Curing Cut Back*), merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan cut back asphalt yang paling lama menguap.

Berdasarkan nilai viskositas pada temperatur 60 °C, cut back asphalt dapat dibedakan atas:

RC 30 - 60	MC 30 - 60	SC 30 - 60
RC 70 - 140	MC 70 - 140	SC 70 - 140
RC 250 - 500	MC 250 - 500	SC 250 - 500
RC 800 - 1600	MC 800 - 1600	SC 800 - 1600
RC 3000 - 6000	MC 3000 - 6000	SC 3000 - 6000

### Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- *Kationik* disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik positif.
- *Anionik* disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan negatif.
- *Nonionik* merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Yang umum dipergunakan sebagai bahan perkerasan jalan adalah aspal emulsi anionik dan kationik. Berdasarkan kecepatan pengerasannya aspal emulsi dapat dibedakan atas :

- Rapid Setting (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat.
- Medium Setting (MS)
- Slow Setting (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat menguap.

### Aspal Buton

Aspal alam yang terdapat di Indonesia dan telah dimanfaatkan adalah aspal dari Pulau Buton. Aspal ini merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena aspal buton merupakan bahan alam maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Berdasarkan kadar bitumen yang dikandungnya aspal buton dapat dibedakan atas B10, B13, B20, B25 dan B30. Aspal buton B10 adalah aspal buton dengan kadar bitumen rata-rata 10 %.

### **3.3.3. Komposisi Aspal**

Aspal merupakan unsur hydrocarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda-beda. Komposisi dari aspal terdiri atas asphaltenes dan maltenes. Asphaltenes merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam heptane. Maltenes larut dalam heptane, merupakan cairan kental yang terdiri dari resins dan oils. Resins adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan. Sedangkan oils yang berwarna lebih muda merupakan media dari asphaltenes dan resin. Proporsi dari asphaltenes, resin, dan oils berbeda-beda tergantung dari banyak faktor seperti kemungkinan beroksidasi, proses pembuatannya, ketebalan lapisan aspal dalam campuran, dan sebagainya.

### **3.3.4. Sifat Aspal**

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Hal ini mengandung indikasi bahwa aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

### **Daya Tahan (*Durability*)**

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan sebagainya. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan Thin Film Oven Test (TFOT).

### **Adhesi dan Kohesi**

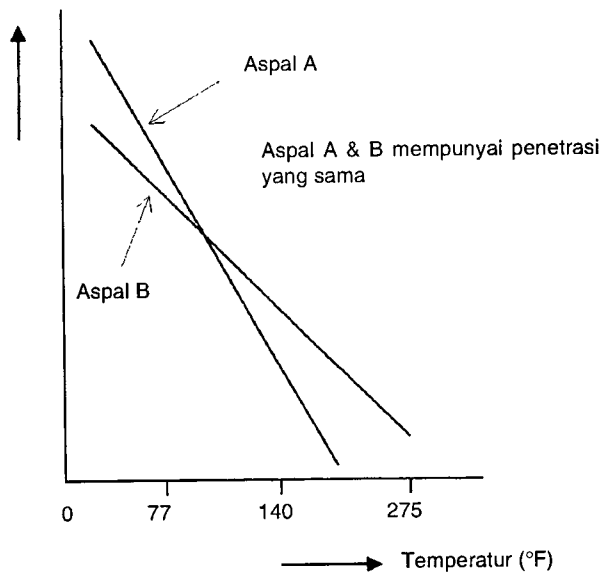
Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

### **Kepekaan terhadap Temperatur**

Aspal adalah material yang bersifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini

dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, dimana setiap hasil produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama. Pada gambar 3.10, terlihat 2 kelompok aspal dengan nilai penetrasi yang sama pada temperatur 25 °C tetapi tidak berasal dari sumber yang sama. Pada temperatur selain 25 °C viskositas dari kedua aspal tersebut berbeda, hal ini disebabkan karena kepekaan terhadap temperaturnya berbeda. Sedangkan pada gambar 3.11, terlihat 2 kelompok aspal dengan nilai viskositas yang sama pada temperatur 60 °C, tetapi berbeda pada temperatur yang lain. Dengan diketahuinya kepekaan terhadap temperatur, maka dapat ditentukan temperatur optimum pemadatan sehingga hasilnya dapat dimaksimalkan.

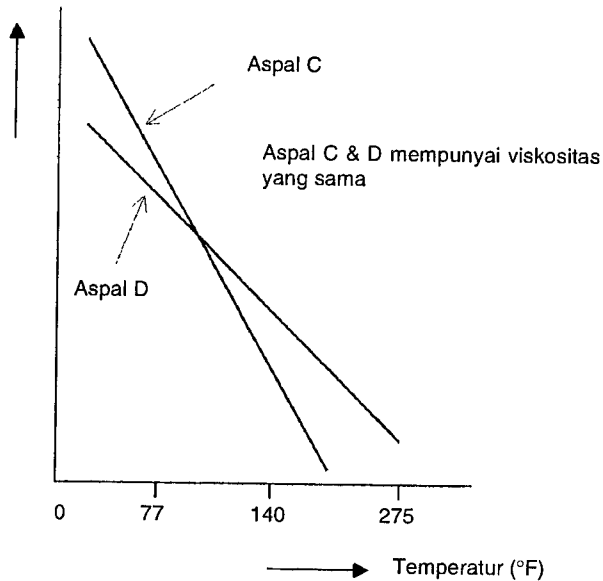
Pada gambar 3.10, terlihat bahwa pada temperatur di atas 25 °C aspal A lebih cair dari aspal B sehingga temperatur yang dibutuhkan oleh aspal A untuk pencampuran dengan agregat lebih rendah dan aspal A dapat dipadatkan dengan baik pada temperatur yang lebih rendah dari aspal B.



**Gambar 3.10.** Viskositas vs Temperatur pada 2 aspal yang sama  
Penetrasinya pada Temperatur 25 C.

Sedangkan pada gambar 3.11 terlihat bahwa pada temperatur di atas 60 °C aspal C lebih lembek dari aspal D, sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk pencampuran menggunakan aspal D akan lebih rendah dibandingkan dengan jika menggunakan aspal C. Akan tetapi pada temperatur di bawah 60 °C, aspal C lebih keras yang berarti aspal C cepat mengeras dan cepat pula mencair sehingga waktu pelaksanaan harus lebih pendek dibandingkan dengan aspal D. Aspal D kurang peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal C.

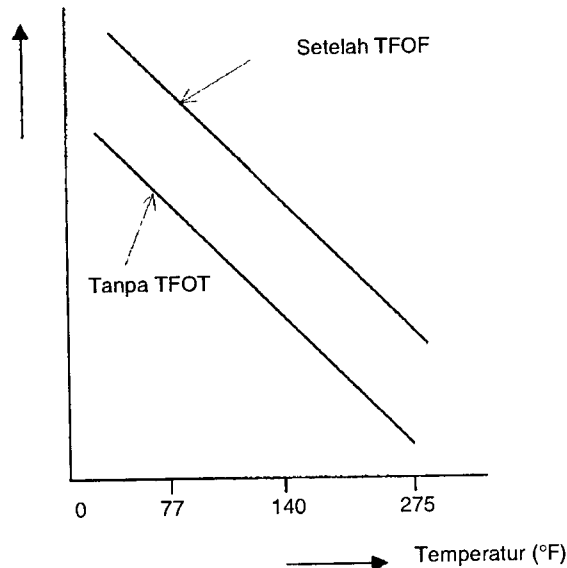




**Gambar 3.11.** Viskositas vs Temperatur pada 2 aspal yang sama  
Viskositasnya pada Temperatur 60 °C.

### Kekerasan Aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Jadi selama masa pelayanan aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. Pada gambar 3.12 terlihat perbedaan viskositas pada aspal sebelum dan setelah proses pemeriksaan pengovenan lapisan tipis aspal (*Thin Film Oven Test*).



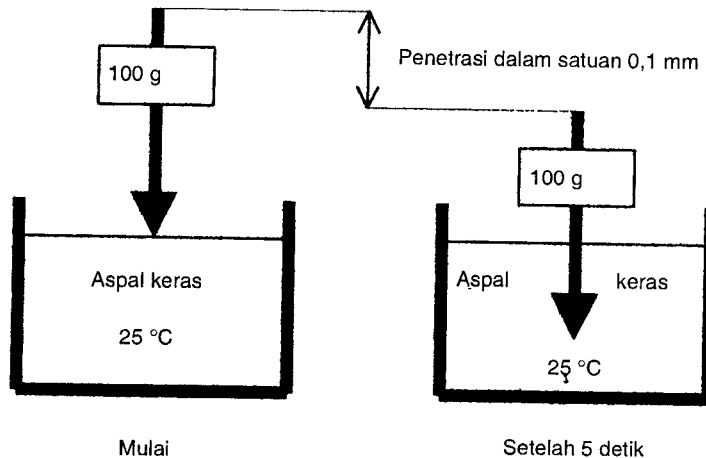
**Gambar 3.12.** Perbedaan Viskositas pada aspal setelah Thin Film Oven Test (gambar ilustrasi)

### 3.3.5. Pemeriksaan Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur. Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

#### Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0301-76 atau AASHTO T49-80. Pemeriksaan dilakukan dengan memasukkan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum + beban) selama 5 detik pada temperatur 25 °C. Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang merupakan kelipatan 0,1 mm.



**Gambar 3.13.** Pemeriksaan Penetrasi Aspal

#### **Pemeriksaan Titik Lembek / Lunak (*Softening Point Test*)**

Temperatur pada saat aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai penetrasi yang sama. Oleh karena itu temperatur tersebut dapat diperiksa dengan mengikuti prosedur PA-0302-76 atau AASHTO T53-81. Pemeriksaan menggunakan bola baja dan cincin yang terbuat dari kuningan. Titik lembek adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserine yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat  $\pm 3,5$  gram yang diletakkan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 25,4 mm. Titik lembek aspal bervariasi antara 30 °C - 200 °C. Dua kelompok aspal dengan penetrasi yang sama belum tentu mempunyai titik lembek yang sama. Aspal dengan titik lembek yang lebih tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi perkerasan.

#### **Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleveland Open Cup**

Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar untuk aspal keras mengikuti prosedur AASHTO T48-81 atau PA-0303-76, yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat di permukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Aspal disiapkan dalam cleveland open cup yang berbentuk cawan dari kuningan dan diletakkan pada pelat pemanas. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Pemeriksaan harus dilakukan dalam ruang gelap sehingga dapat segera diketahui timbulnya nyala pertama.

### **Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal (*Thick Film Test*)**

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Aspal setebal 3 mm dipanaskan sampai temperatur 163 °C selama 5 jam di dalam oven yang dilengkapi dengan piring yang berdiameter 25 cm tergantung melalui poros vertikal dan dapat berputar dengan kecepatan 5-6 putaran/menit. Oven dilengkapi dengan ventilasi. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0304-76 atau AASHTO T47-82. Penurunan berat yang besar menunjukkan banyaknya bahan-bahan yang hilang karena penguapan. Aspal tersebut akan cepat mengeras dan menjadi rapuh. Pemeriksaan dapat dilanjutkan dengan menentukan penetrasi/viskositas aspal dari contoh aspal yang telah mengalami pemanasan.

### **Pemeriksaan Kelarutan Bitumen dalam Karbon Tetrachlorida / Carbon bisulfida (*Solubility Test*)**

Pemeriksaan dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam karbon tetrachlorida/karbon bisulfida. Jika semua bitumen yang diuji larut dalam  $\text{CCl}_4$  atau  $\text{CS}_2$  maka bitumen tersebut adalah murni. Disyaratkan bitumen yang digunakan untuk perkerasan jalan mempunyai kemurnian > 99 %. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76 atau AASHTO T44-81. Hasil yang diperoleh adalah :

$$p = \frac{\text{bitumen larut dalam } \text{CCl}_4}{\text{jumlah bitumen kering}}$$

dimana :

p adalah bagian bitumen yang larut dalam  $\text{CCl}_4$ .

### **Pemeriksaan Daktilitas Aspal**

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 (dua) cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur PB-0306-76 atau AASHTO T51-81. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur. Aspal dicetak pada cetakan kemudian dilakukan penarikan sedemikian rupa sehingga sampel selalu terendam air. Umumnya pemeriksaan dilakukan pada suhu 25 °C dengan kecepatan penarikan 5 cm/menit.

### **Pemeriksaan Berat jenis Aspal (*Specific Gravity Test*)**

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25 °C. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0307-76 atau AASHTO T228-79, dengan menggunakan piknometer.

$$\text{Berat jenis aspal} = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]}$$

dimana :

A = berat piknometer dengan penutup

B = berat piknometer berisi air

C = berat piknometer berisi aspal

D = berat piknometer berisi aspal dan air.

Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran.

### Pemeriksaan Viskositas

Pemeriksaan viskositas pada aspal semen bertujuan untuk memeriksa kekentalan aspal, dilakukan pada temperatur 60 °C dan 135 °C. 60 °C adalah temperatur maksimum perkerasan selama masa pelayanan sedangkan 135 °C adalah temperatur dimana proses pencampuran/ penyemprotan aspal umumnya dilakukan. Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan viskosimeter. Prinsip kerja dari pemeriksaan ini adalah menentukan waktu yang dibutuhkan untuk suatu larutan dengan isi tertentu mengalir dalam kapiler di dalam viskosimeter kapiler yang terbuat dari gelas pada temperatur tertentu. Viskositas kinematik adalah waktu tersebut di atas dikalikan dengan faktor kalibrasi viskosimeter.

$$\text{Viskositas kinematik} = t.C$$

dimana:

t = Waktu mengalir dalam detik

C = konstanta kalibrasi viskosimeter yang dinyatakan dalam centistokes/detik (cSt/det).

Pemeriksaan dilakukan mengikuti prosedur PA-0308-76 atau AASHTO T201-80.

**Tabel 3.4.** Daftar Rujukan Pemeriksaan Aspal Keras

Pemeriksaan	Metode pemeriksaan	
	Bina Marga	Pemeriksaan
1. Penetrasi	PA-0301-76	1. Penetrasi
2. Titik lembek	PA-0302-76	2. Titik lembek
3. Titik nyala & bakar	PA-0303-76	3. Titik nyala & bakar
4. Thick Film Test	PA-0304-76	4. Thick Film Test
5. Kadar larut dalam CCl <sub>4</sub>	PA-0305-76	5. Kadar larut dalam CCl <sub>4</sub>
6. Daktilitas	PA-0306-76	6. Daktilitas
7. Berat jenis	PA-0307-76	7. Berat jenis
8. Viskositas kinematik	PA-0308-76	8. Viskositas kinematik

## Pemeriksaan pada Aspal Cair yang Umum Dilakukan

### 1. Viskositas kinematik

Pemeriksaan viskositas kinematik pada aspal cair (cut back asphalt) umumnya dilakukan sebagai dasar untuk menentukan klasifikasi kekentalan dari RC, MC dan SC. Prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T201-80.

### 2. Pemeriksaan titik nyala dengan tag open cup.

Kegunaan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan suhu dimana aspal cair mulai menyala. Untuk Slow Curing Cut Back Aspal pemeriksaan menggunakan cleveland open cup, prosedur mengikuti AASHTO T48-81 atau PA-0309-76. Sedangkan untuk MC dan RC yang lebih cepat menguap, pemeriksaan mempergunakan tag open cup yang terbuat dari gelas dan pemanasan dilakukan dengan menggunakan pemanas air (*water bath*). Prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T79-80 atau PA-0309-76.

### 3. Daktilitas aspal cair.

Pemeriksaan ini berguna untuk memisahkan zat-zat dengan titik didih berlainan yang terdapat dalam aspal cair, karena aspal cair berasal dari campuran aspal keras dan bahan pelarut. Pemeriksaan mempergunakan alat penyuling yang mengikuti prosedur PA-0310-76 atau AASHTO T78-80.

### 4. Penyulingan aspal cair.

### 5. Kadar air

Pemeriksaan kadar air berguna untuk menentukan banyaknya air yang terdapat dalam aspal cair. Pemeriksaan mengikuti PA-0311-76 atau AASHTO T55-78.

**Tabel 3.5.** Daftar Rujukan Pemeriksaan Aspal Cair

Pemeriksaan	Metode pemeriksaan	
	Bina Marga	Pemeriksaan
1. Viskositas kinematik	PA-0308-76	T201-80
2. Titik nyala	PA-0309-76	T79-80
3. Daktilitas aspal cair	PA-0310-76	T51-81
4. Penyulingan aspal cair	PA-0311-76	T78-80
5. Kadar air	PA-0311-76	T55-78

## ***Bab 4 Parameter Perencanaan Tebal Lapisan Konstruksi Perkerasan***

Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Dengan demikian memberikan kenyamanan kepada pengemudi selama masa pelayanan jalan tersebut. Untuk itu dalam perencanaan perlu dipertimbangkan seluruh faktor-faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan perkerasan jalan seperti : fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan, sifat dan jumlah material tersedia di lokasi yang akan dipergunakan sebagai bahan lapis perkerasan, serta bentuk geometrik lapisan perkerasan.

### **4.1. FUNGSI JALAN**

Sesuai Undang-undang tentang jalan, No. 13 tahun 1980 dan Peraturan Pemerintah No. 26 tahun 1985, sistem jaringan jalan di Indonesia dapat dibedakan atas:

- Sistem Jaringan Jalan Primer, adalah sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan jasa distribusi untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional dengan semua simpul jasa distribusi yang kemudian berwujud kota. Ini berarti sistem jaringan jalan primer menghubungkan simpul-simpul jasa distribusi sebagai berikut :
  - Dalam satu satuan wilayah pengembangan menghubungkan secara menerus kota jenjang pertama (ibukota propinsi), kota jenjang kedua (ibukota kabupaten, kotamadya), kota jenjang ketiga (kecamatan), dan kota jenjang di bawahnya sampai ke persil.
  - Menghubungkan kota antar jenjang pertama antar satuan wilayah pengembangan.
- Sistem Jaringan Jalan Sekunder, adalah sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan jasa distribusi untuk masyarakat dalam kota, ini berarti sistem jaringan jalan sekunder disusun mengikuti ketentuan pengaturan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan.

Berdasarkan fungsinya, jalan dapat dibagi atas :

- Jalan Arteri, adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- Jalan Kolektor, adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan/pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- Jalan Lokal, adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Dengan demikian sistem jaringan jalan primer terdiri dari :

- Jalan Arteri Primer, adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang pertama yang terletak berdampingan, atau menghubungkan kota jenjang pertama dengan kota jenjang kedua. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan arteri primer ini adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 60$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 8,0$  m
  - Kapasitas jalan lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
  - Jalan masuk dibatasi secara efisien sehingga kecepatan rencana dan kapasitas jalan dapat tercapai.
  - Tidak boleh terganggu oleh kegiatan lokal, lalu lintas lokal, dan lalu lintas ulang alik.
  - Jalan arteri primer tidak terputus walaupun memasuki kota.
  - Tingkat kenyamanan dan keamanan yang dinyatakan dengan Indeks Permukaan tidak kurang dari 2.
- Jalan Kolektor Primer, adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan kolektor primer adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 40$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 7$  m.
  - Kapasitas jalan lebih besar atau sama dengan volume lalu lintas rata-rata.
  - Jalan kolektor primer tidak terputus walaupun memasuki daerah kota.
  - Jalan masuk dibatasi sehingga kecepatan rencana dan kapasitas jalan tidak terganggu.
  - Indeks Permukaan tidak kurang dari 2.
- Jalan Lokal Primer, adalah jalan yang menghubungkan kota jenjang pertama dengan persil atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan kota jenjang ketiga, kota jenjang ketiga dengan kota jenjang di bawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil, atau kota di bawah jenjang ketiga sampai persil. Persyaratan jalan lokal primer adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 20$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 6,0$  m.
  - Jalan lokal primer tidak terputus walaupun memasuki desa.
  - Indeks Permukaan tidak kurang dari 2.



Sedangkan sistem jaringan jalan sekunder terdiri atas :

- Jalan Arteri Sekunder, adalah jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder pertama atau menghubungkan kawasan sekunder pertama dengan kawasan sekunder pertama atau menghubungkan kawasan sekunder pertama dengan kawasan sekunder kedua. Persyaratan dari jalan arteri sekunder adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 30$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 8,0$  m
  - Kapasitas jalan sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
  - Tidak boleh diganggu oleh lalu lintas lambat.
  - Indeks Permukaan minimal 1,5.
- Jalan Kolektor Sekunder, adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh jalan kolektor sekunder adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 20$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 7$  m.
  - Indeks Permukaan minimal 1,5.
- Jalan Lokal Sekunder, adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder pertama dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan. Persyaratan jalan lokal sekunder adalah :
  - Kecepatan rencana  $> 10$  km/jam.
  - Lebar badan jalan  $> 5$  m.
  - Indeks Permukaan tidak kurang dari 1,0.

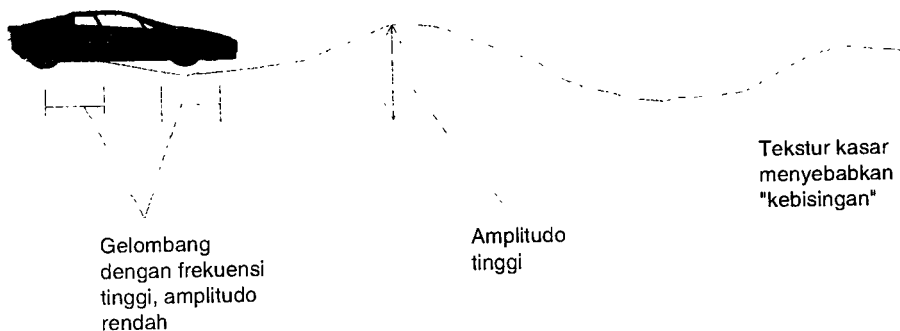
#### **4.2. KINERJA PERKERASAN JALAN (PAVEMENT PERFORMANCE)**

Kinerja perkerasan jalan (*pavement performance*) meliputi 3 (tiga) hal yaitu :

1. Keamanan, yaitu ditentukan oleh besarnya gesekan akibat adanya kontak antara ban dan permukaan jalan. Besarnya gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan sebagainya.
2. Wujud perkerasan (struktur perkerasan), sehubungan dengan kondisi fisik dari jalan tersebut seperti adanya retak-retak, amblas, alur, gelombang dan sebagainya.
3. Fungsi pelayanan, sehubungan dengan bagaimana perkerasan tersebut memberikan pelayanan kepada pemakai jalan. Wujud perkerasan dan fungsi pelayanan umumnya merupakan satu kesatuan yang dapat digambarkan dengan “kenyamanan mengemudi (*riding quality*)”.

Tingkat kenyamanan ditentukan berdasarkan anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Kenyamanan pada dasarnya merupakan faktor subyektif, tergantung penilaian masing-masing pengemudi, tetapi dapat dinyatakan dari nilai rata-rata yang diberikan oleh pengemudi.
2. Jalan disediakan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan pada pemakai jalan.
3. Pelayanan yang diberikan oleh jalan dapat dinyatakan sebagai nilai rata-rata yang diberikan oleh sipemakai jalan.
4. Kenyamanan berkaitan dengan bentuk fisik dari perkerasan yang dapat diukur secara obyektif serta mempunyai nilai korelasi dengan penilaian subyektif masing-masing pengemudi.



**Gambar 4.1. Bentuk "Kekasaran Permukaan"**

Gangguan kenyamanan mengemudi dapat disebabkan oleh gangguan dalam arah memanjang (longitudinal distortion) dan gangguan dalam arah melintang (transversal distortion). Pada gambar 4.1. diperlihatkan gangguan-gangguan yang berpengaruh terhadap kenyamanan mengemudi berupa getaran-getaran yang besarnya tergantung dari amplitudo dan frekuensi getaran.

Kinerja perkerasan dapat dinyatakan dengan :

- Indeks Permukaan (Serviceability Index), diperkenalkan oleh AASHTO yang diperoleh dari pengamatan kondisi jalan meliputi kerusakan-kerusakan seperti retak-retak, alur-alur, lubang-lubang, lendutan pada lajur roda, kekasaran permukaan dan lain sebagainya yang terjadi selama umur jalan tersebut. Indeks Permukaan bervariasi dari angka 0 - 5, masing-masing angka menunjukkan fungsi pelayanan sebagai berikut :

**Tabel 4.1.** Nilai Indeks Permukaan

Indeks Permukaan (IP)	Fungsi Pelayanan
4 - 5	Sangat baik
3 - 4	Baik
2 - 3	Cukup
1 - 2	Kurang
0 - 1	Sangat kurang

Jalan dengan lapis aspal beton yang baru dibuka untuk umum merupakan contoh jalan dengan nilai IP = 4,2.

- Indeks Kondisi Jalan (Road Condition Index = RCI) adalah skala dari tingkat kenyamanan atau kinerja dari jalan, dapat diperoleh sebagai hasil dari pengukuran dengan alat roughometer ataupun secara visual. Skala angka bervariasi dari 2 - 10, dengan pengertian sebagai berikut :

**Tabel 4.2.** Indeks Kondisi Jalan (RCI)

RCI	Kondisi Permukaan Jalan Secara Visual
8 - 10	– Sangat rata dan teratur
7 - 8	– Sangat baik, umumnya rata
6 - 7	– Baik
5 - 6	– Cukup, sedikit/tidak ada lubang, tetapi permukaan jalan tidak rata.
4 - 5	– Jelek, kadang-kadang ada lubang, permukaan jalan tidak rata.
3 - 4	– Rusak, bergelombang, banyak lubang.
2 - 3	– Rusak berat, banyak lubang dan seluruh daerah perkerasan hancur.
≤ 2	– Tidak dapat dilalui, kecuali dengan 4WD jeep.

Jika penelitian dilakukan dengan mempergunakan alat roughometer sehingga diperoleh IRI, maka untuk daerah Indonesia dipergunakan korelasi antara RCI dan IRI seperti gambar 4.2. (lihat lampiran).

### **4.3. UMUR RENCANA**

Umur rencana perkerasan jalan adalah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintaskendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat struktural (sampai diperlukan overlay lapisan perkerasan). Selama umur rencana tersebut pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti plapisan nonstruktural yang berfungsi sebagai lapis aus. Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang terlalu besar dan sukar untuk mendapatkan ketelitian yang memadai (tambahan tebal lapisan perkerasan menyebabkan biaya awal yang cukup tinggi).

### **4.4. LALU LINTAS**

Tebal lapisan perkerasan jalan ditentukan dari beban yang akan dipikul, hal ini berhubungan dengan arus lalu lintas yang hendak melewati jalan tersebut. Besarnya arus lalu lintas dapat diperoleh dari :

1. Analisa lalu lintas saat ini, sehingga diperoleh data mengenai : jumlah kendaraan yang akan memakai jalan, jenis kendaraan, konfigurasi sumbu dari setiap jenis kendaraan, serta beban masing-masing sumbu kendaraan. Pada perencanaan jalan baru perkiraan volume lalu lintas ditentukan dengan menggunakan hasil survei volume lalu lintas di dekat jalan tersebut dan analisa pola lalu lintas di sekitar lokasi jalan.
2. Perkiraan faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana, antara lain berdasarkan atas analisa ekonomi dan sosial daerah tersebut.

Di negara sedang berkembang termasuk Indonesia, analisa lalu lintas yang dapat menunjang data perencanaan dengan ketelitian yang memadai sukar dilakukan, karena :

- Kurangnya data yang dibutuhkan
- Sulit memprediksi perkembangan yang akan datang karena belum adanya rancangan induk di sebagian besar wilayah Indonesia. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan konstruksi bertahap (stage construction) dimana lapis perkerasan sampai dengan lapisan pondasi atas dilaksanakan sesuai kebutuhan untuk umur rencana yang lebih panjang, biasanya 20 tahun, tetapi lapisan permukaannya dilaksanakan sesuai kebutuhan umur rencana tahap pertama (5 atau 10 tahun).

Keuntungan menggunakan konstruksi bertahap antara lain :

- Koreksi terhadap perkiraan perkembangan lalu lintas dapat dilakukan pada tahap kedua.
- Kerusakan setempat, karena pelaksanaan atau keadaan setempat dapat diperbaiki dan direncanakan kembali.
- Keterbatasan biaya untuk pembuatan tebal perkerasan dapat diatasi (lapisan permukaan merupakan lapisan dengan biaya terbesar).

#### 4.4.1. Volume Lalu Lintas

Jumlah kendaraan yang akan memakai jalan dinyatakan dalam volume lalu lintas yang didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan waktu. Untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan, volume lalu lintas dinyatakan dalam kendaraan/hari/2 arah untuk jalan 2 arah tidak terpisah dan kendaraan /hari/1 arah untuk jalan satu arah atau 2 arah terpisah. Data volume lalu lintas dapat diperoleh dari pos-pos rutin yang ada di sekitar lokasi. Jika tidak terdapat pos-pos rutin di dekat lokasi atau untuk pengecekan data, perhitungan volume lalu lintas dapat dilakukan secara manual di tempat-tempat yang dianggap perlu. Perhitungan dapat dilakukan selama 3 x 24 jam atau 3 x 16 jam terus-menerus. Dengan memperhatikan faktor hari, bulan, musim dimana perhitungan dilakukan, dapat diperoleh data lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang representatif.

Saat ini Indonesia telah mempunyai pos-pos rutin perhitungan volume lalu lintas yang merupakan pos yang dipilih di sepanjang jaringan jalan yang ada yang dapat dibagi atas 3 (tiga) kelas yaitu :

1. Kelas A, adalah pos yang terletak pada ruas jalan dengan lalu lintas padat, dimana perhitungannya dilakukan terus-menerus secara otomatis selama setahun, disamping itu juga dilakukan perhitungan secara manual (dengan tenaga manusia) selama 7 x 24 jam yang dilakukan setiap hari ke 52.
2. Kelas B, adalah pos yang terletak pada ruas jalan dengan lalu lintas sedang, dimana perhitungannya dilakukan secara manual selama 7 x 24 jam yang dilakukan setiap hari ke 52.
3. Kelas C, adalah pos yang terletak pada ruas jalan dengan lalu lintas rendah, dimana perhitungannya dilakukan secara manual selama 1 x 24 jam yang dilakukan setiap hari ke 52.

Dari pos-pos rutin tersebut untuk kebutuhan perencanaan tebal lapisan perkerasan dapat diperoleh data-data sebagai berikut :

- LHR rata-rata.
- Komposisi arus lalu lintas terhadap berbagai kelompok jenis kendaraan.
- Distribusi arah untuk jalan 2 jalur tanpa median.

Jika pada lokasi jalan yang hendak direncanakan tersebut belum terdapat pos-pos rutin atau jika dibutuhkan tambahan data, maka pos perhitungan volume lalu lintas hendaknya dipilih sedemikian rupa sehingga :

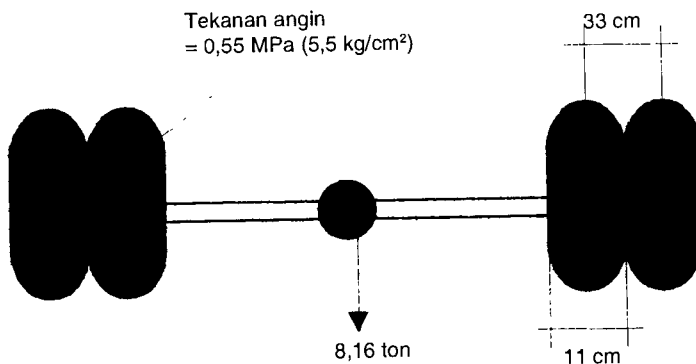
- Arus lalu lintas pada lokasi perhitungan tersebut tidak terganggu oleh lalu lintas lokal.
- Pos perhitungan terletak pada lokasi yang lurus, sehingga memudahkan melihat kendaraan yang akan dicatat/dihitung.
- Pos perhitungan jangan terletak di dekat persimpangan.

#### 4.4.2. Angka Ekuivalen Beban Sumbu

Jenis kendaraan yang memakai jalan beraneka ragam, bervariasi baik ukuran, berat total, konfigurasi dan beban sumbu, daya, dan sebagainya. Oleh karena itu volume lalu lintas umumnya dikelompokkan atas beberapa kelompok yang masing-masing kelompok diwakili oleh satu jenis kendaraan. Pengelompokan jenis kendaraan untuk perencanaan tebal perkerasan dapat dilakukan sebagai berikut :

- Mobil penumpang, termasuk di dalamnya semua kendaraan dengan berat total ( 2 ton.
- Bus
- Truk 2 sumbu
- Truk 3 sumbu
- Truk 5 sumbu
- Semi Trailer.

Konstruksi perkerasan jalan menerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda-roda kendaraan. Besarnya beban yang dilimpahkan tersebut tergantung dari berat total kendaraan, konfigurasi sumbu, bidang kontak antara roda dan perkerasan, kecepatan kendaraan, dan sebagainya. Dengan demikian efek dari masing-masing kendaraan terhadap kerusakan yang ditimbulkan tidaklah sama. Oleh karena itu perlu adanya beban standar sehingga semua beban lainnya dapat disetarakan dengan beban standar tersebut yang merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18.000 lbs (8,16 ton).



**Gambar 4.3.** Sumbu Standar 18.000 lbs (8,16 ton)

Semua beban kendaraan lain dengan beban sumbu berbeda diekivalenkan ke beban sumbu standar dengan menggunakan “angka ekuivalen beban sumbu (E)”. Angka ekuivalen beban sumbu adalah angka yang menunjukkan jumlah lintasan dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton yang akan menyebabkan kerusakan yang sama atau penurunan indeks permukaan yang sama apabila beban sumbu standar lewat satu kali. Contoh :  $E_{\text{truk}} = 1,2$ , ini

berarti 1 kali lintasan kendaraan truk mengakibatkan penurunan indeks permukaan yang sama dengan 1,2 kali lintasan sumbu standar. Secara empiris angka ekivalen ditulis sebagai berikut :

$$E = \left[ \frac{\text{beban sumbu, (kg)}}{8160} \right]^X$$

X merupakan konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh :

- Bidang kontak antara ban dengan perkerasan jalan. Luas bidang kontak ditentukan oleh tekanan ban.
- Kelandaian, kendaraan yang berjalan di jalan yang mendaki mempunyai efek yang berbeda dibandingkan dengan kendaraan yang bergerak di jalan datar.
- Fungsi jalan, kendaraan yang bergerak pada jalan yang menghubungkan dua kota berkecepatan lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan yang bergerak di dalam kota. Di dalam kota di tempat-tempat yang banyak ditemukan persimpangan, kendaraan bergerak dengan kecepatan lebih rendah dan seringkali berhenti.
- Beban sumbu, kendaraan dengan beban sumbu yang lebih besar akan mempunyai angka ekivalen lebih besar dari pada kendaraan dengan beban sumbu yang lebih kecil.
- Kecepatan kendaraan, kendaraan sejenis akan menghasilkan kerusakan yang berbeda jika kendaraan tersebut bergerak dengan kecepatan yang berbeda pula. Kendaraan yang bergerak dengan kecepatan rendah akan mempunyai efek lebih cepat merusak jalan.
- Ketebalan lapisan perkerasan, kerusakan yang ditimbulkan oleh kendaraan pada lapisan perkerasan dengan nilai struktural lebih tinggi akan lebih kecil dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi pada lapisan perkerasan dengan nilai struktural lebih rendah.

Nilai X akan bertambah besar dengan semakin jelek/tidak ratanya permukaan jalan. Indeks permukaan turun mengakibatkan nilai X bertambah besar. Untuk perencanaan tebal perkerasan, angka ekivalen dapat diasumsikan tetap selama umur rencana dan dipergunakan angka ekivalen pada kondisi akhir umur rencana (pada keadaan indeks permukaan akhir umur rencana). Untuk menentukan angka ekivalen beban sumbu, Bina Marga memberikan rumus sebagai berikut :

$$E_{\text{sumbu tunggal}} = \left[ \frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right]^4$$

$$E_{\text{sumbu ganda}} = \left[ \frac{\text{beban sumbu ganda (kg)}}{8160} \right]^4 \times 0,086$$

Sebagai pembandingan diberikan juga angka ekivalen yang digunakan oleh NAASRA, Australia sebagai berikut :

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda tunggal}} = \left[ \frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{5400} \right]^4$$

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda ganda}} = \left[ \frac{\text{beban sumbu tunggal (kg)}}{8200} \right]^4$$

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda ganda}} = \left[ \frac{\text{beban sumbu ganda (kg)}}{13600} \right]^4$$

#### 4.4.3. Angka Ekivalen Kendaraan

Berat kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui roda kendaraan yang terletak di ujung-ujung sumbu kendaraan. Setiap jenis kendaraan mempunyai konfigurasi sumbu yang berbeda-beda. Sumbu depan merupakan sumbu tunggal roda tunggal, sedangkan sumbu belakang dapat berupa sumbu tunggal atau sumbu ganda. Dengan demikian setiap jenis kendaraan akan mempunyai angka ekivalen yang merupakan jumlah angka ekivalen dari sumbu depan dan sumbu belakang. Beban masing-masing sumbu dipengaruhi oleh letak titik berat kendaraan, dan bervariasi sesuai dengan muatan dari kendaraan tersebut. Sebagai contoh truk dengan berat kosong 4,2 ton mempunyai konfigurasi sumbu depan adalah sumbu tunggal roda tunggal dan sumbu belakang adalah sumbu tunggal roda ganda. Berat maksimum truk = 18,2 ton. Distribusi beban terhadap sumbu depan 34 % dan belakang sebesar 66 %. Angka ekivalen kendaraan dapat dihitung sebagai berikut :

**Menurut Bina Marga :**

$$\begin{aligned} E_{\text{truk kosong}} (E_{\text{truk}}) &= E_{\text{sumbu depan}} + E_{\text{sumbu belakang}} \\ &= \left[ \frac{0,34 (4200)}{8160} \right]^4 + \left[ \frac{0,66 (4200)}{8160} \right]^4 \\ &= 0,0009 + 0,0133 \\ &= 0,0142. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 E_{\text{truk maksimum}} &= \left[ \frac{0,34 (18200)}{8160} \right]^4 + \left[ \frac{0,66 (18200)}{8160} \right]^4 \\
 &= 0,3307 + 4,6957 \\
 &= 5,0264.
 \end{aligned}$$

**Menurut NAASRA :**

$$\begin{aligned}
 E_{\text{truk kosong}} &= \left[ \frac{0,34 (4200)}{5400} \right]^4 + \left[ \frac{0,66 (4200)}{5400} \right]^4 \\
 &= 0,0049 + 0,0131 \\
 &= 0,0180.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{truk maksimum}} &= \left[ \frac{0,34 (18200)}{5400} \right]^4 + \left[ \frac{0,66 (18200)}{5400} \right]^4 \\
 &= 1,7244 + 4,6047 \\
 &= 6,3291.
 \end{aligned}$$

Truk tersebut mempunyai angka ekivalen yang berbeda antara kondisi kosong dan kondisi termuat penuh sehingga mencapai berat maksimum. Pada perencanaan tebal perkerasan sebaiknya tidak selalu menggunakan angka ekivalen berdasarkan berat maksimum dan tidak mungkin pula menggunakan angka ekivalen berdasarkan berat kosong. Angka ekivalen yang dipergunakan dalam perencanaan adalah angka ekivalen berdasarkan berat kendaraan yang diharapkan selama umur rencana, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- Fungsi jalan. Kendaraan berat yang memakai jalan arteri umumnya membawa muatan yang lebih berat dari pada jalan lokal.
- Keadaan medan. Jalan yang mendaki mengakibatkan truk tidak mungkin memuat beban yang lebih berat dibandingkan dengan jalan pada medan datar.
- Kondisi jembatan. Jembatan-jembatan yang dibangun dengan kemampuan memikul beban yang terbatas jelas tidak mungkin untuk memikul beban truk yang melewati batas beban maksimum yang dapat dipikulnya, walaupun truk tersebut dapat membawa beban yang lebih besar.
- Aktivitas ekonomi di daerah yang bersangkutan. Jenis dan berat beban yang diangkut oleh kendaraan berat sangat tergantung dari jenis kegiatan yang ada di daerah tersebut.

Truk di daerah industri mengangkut beban yang berbeda jenis dan beratnya dengan di daerah perkebunan.

- Perkembangan daerah. Beban yang diangkut oleh kendaraan dapat berkembang sesuai dengan perkembangan daerah di sekitar lokasi jalan. Dengan demikian maka sebaiknya angka ekivalen yang dipergunakan untuk perencanaan adalah angka ekivalen yang berdasarkan atas data pos timbang atau dari hasil survei timbang yang dilakukan di daerah lokasi, karena setiap daerah mempunyai angka ekivalen yang berbeda-beda sehingga sebaiknya dilakukan survei timbang terlebih dahulu sebelum perencanaan dilakukan.

### Survei Timbang

Beban sumbu dipengaruhi oleh konfigurasi sumbu dan muatan kendaraannya sehingga mungkin saja dua kendaraan yang sama akan mempunyai beban sumbu yang berbeda akibat perbedaan muatan, dengan demikian berbeda pula angka ekivalennya. Pada jalan 2 arah mungkin saja arah yang satu mempunyai beban yang lebih besar dari arah yang lain, terutama akibat pola penggunaan tanah. Hal ini sering terjadi di daerah perkebunan, pabrik atau usaha-usaha industri lainnya, misalnya truk dari daerah pabrik baja akan membawa baja, kembalinya akan membawa barang-barang pecah belah dan konsumsi sehari-hari yang jauh lebih ringan. Oleh karena itu dalam perencanaan perlu dilakukan penelitian yang saksama dari variasi beban sumbu, sehingga dapat ditentukan angka ekivalen perencanaan yang baik yang mewakili angka ekivalen untuk variasi beban sumbu selama umur rencana. Penelitian dilakukan dengan menggunakan survei timbang dan survei volume lalu lintas. Tingkat beban sumbu kendaraan berat (bert kosong > 1500 kg) tidak terlalu cepat berubah dari tahun ke tahun, sehingga angka ekivalen yang diperoleh dari survei timbang dapat dianggap sama selama umur rencana jalan. Jika pada kondisi tertentu dimana perbedaan tingkat beban sumbu cukup menyolok, maka angka ekivalen harus dikoreksi selama umur rencana, sama halnya dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang berubah-ubah selama masa pelayanan jalan.

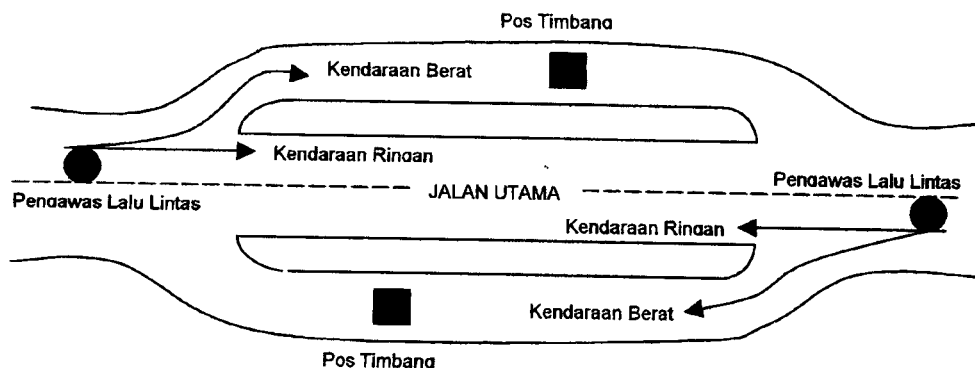
Alat timbang yang biasa digunakan adalah alat timbang portabel yang mudah dipindah-pindah, diletakkan sedemikian rupa sehingga memberikan permukaan yang rata bagi kendaraan yang lewat di atasnya. Lokasi tempat penimbangan dan banyaknya kendaraan yang ditimbang ditentukan oleh volume kendaraan berat yang melewati jalan tersebut. Lokasi tempat penimbangan dipilih pada tempat yang mudah dilihat oleh kendaraan dan tidak mengganggu arus lalu lintas. Jenis lokasi survei timbang dan jumlah sampel yang dibutuhkan sesuai saran yang diberikan oleh TRRL seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Jenis Lokasi Survei Timbang dan Jumlah Sampel

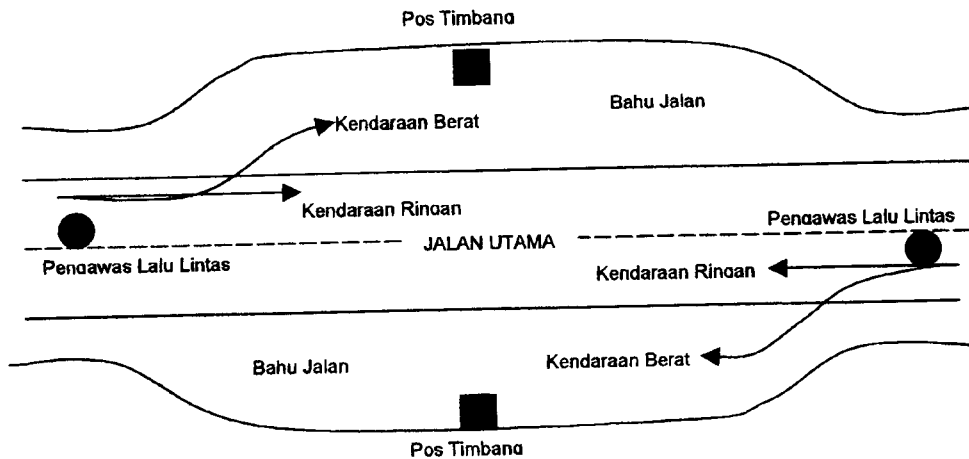
Volume Maks Kendaraan Berat/jam	Tipe Lokasi Penimbangan	Sampel Kendaraan Berat yang Ditimbang
0 - 30	Pos timbang C atau D	Semua
31 - 60	Pos timbang A atau B	Semua
61 - 120	Pos timbang A atau B	Alternatif
121 - 180	Pos timbang A atau B	1 dari 3
181 - 240	Pos timbang A atau B	1 dari 4

Penimbangan dilakukan sebaiknya 7 x 24 jam sehingga diperoleh fluktuasi dari beban sumbu rata-rata. Jika keadaan lokasi tak memungkinkan lamanya survei dapat dikurangi berdasarkan pertimbangan setempat tetapi sebaiknya tidak kurang dari 3 x 16 jam. Hasil yang diperoleh dari survei timbang ini adalah berat roda pada ujung sumbu, dari berat roda tersebut diperoleh beban sumbu dan dengan menggunakan salah satu rumus pada pasal 4.4.2. dapat diperoleh angka ekivalen untuk sumbu yang bersangkutan.

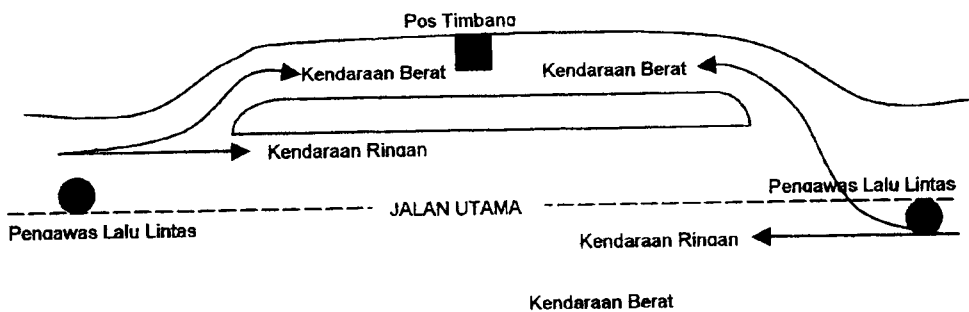
Sebagaimana disebutkan di atas bahwasanya lokasi tempat penimbangan harus dipilih pada tempat yang mudah dilihat oleh kendaraan, dan tidak mengganggu arus lalu lintas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. berikut:



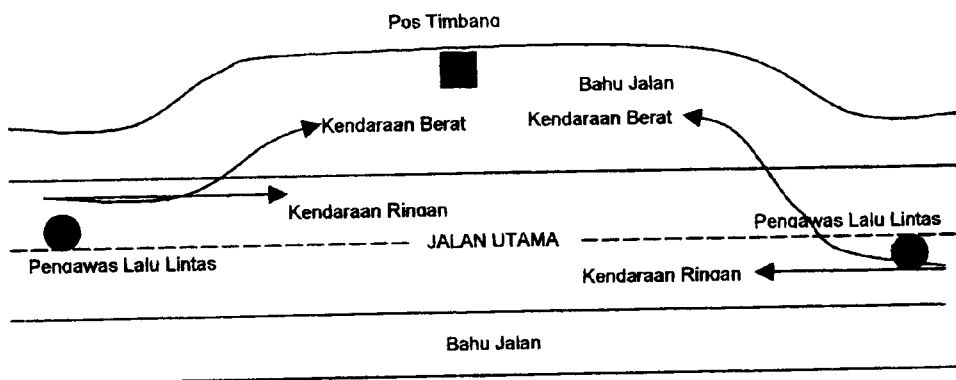
Denah Lokasi Pos Timbang - A



Denah Lokasi Pos Timbang - B



Denah Lokasi Pos Timbang - C



Denah Lokasi Pos Timbang - D

Gambar 4.4. Denah Lokasi Pos Timbang

### Contoh Perhitungan :

Dari survei timbang diperoleh beban roda belakang dari sebuah kendaraan truk seberat 2100 kg. Truk tersebut adalah truk 2 as dengan jenis sumbu tunggal. Distribusi beban sumbu depan dan belakang masing-masing sebesar 34 % dan 66 %. Beban sumbu belakang =  $2 \times 2100 \text{ kg} = 4200 \text{ kg}$ . Beban sumbu depan =  $34/66 \times 4200 \text{ kg} = 2200 \text{ kg}$ , maka angka ekivalen kendaraan truk :

$$E = \left( \frac{2200}{8160} \right)^4 + \left( \frac{4200}{8160} \right)^4$$
$$= 0,005 + 0,0702$$
$$= 0,0752.$$

#### 4.4.4. Faktor Pertumbuhan lalu Lintas

Jumlah kendaraan yang memakai jalan bertambah dari tahun ke tahun ke tahun. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan lalu lintas adalah perkembangan daerah, bertambahnya kesejahteraan masyarakat, naiknya kemampuan membeli kendaraan, dan lain sebagainya. Faktor pertumbuhan lalu lintas ini dinyatakan dalam persen/tahun.

#### 4.4.5. Lintas Ekivalen

Kerusakan perkerasan jalan raya pada umumnya disebabkan oleh terkumpulnya air di bagian perkerasan jalan, dan karena repetisi dari lintasan kendaraan. Oleh karena itu perlu ditentukan berapa jumlah repetisi beban yang akan menggunakan jalan tersebut. Repetisi beban dinyatakan dalam lintasan sumbu standar yang dikenal sebagai lintas ekivalen yang dapat dibedakan atas :

- Lintas ekivalen pada saat jalan tersebut dibuka (Lintas Ekivalen awal umur rencana = LEP).
- Lintas ekivalen pada akhir umur rencana adalah besarnya lintas ekivalen pada saat jalan tersebut membutuhkan perbaikan secara struktural (Lintas Ekivalen akhir umur rencana = LEA).
- Lintas ekivalen selama umur rencana (AE18KSAL), jumlah lintas ekivalen yang akan melintasi jalan bersangkutan selama masa pelayanan, dari saat dibuka sampai akhir umur rencana.

#### Penentuan Besarnya Lintas Ekivalen

Kendaraan-kendaraan melintasi jalan secara berulang pada lajur jalannya, maka lintas ekivalen yang merupakan beban bagi perkerasan jalan diperhitungkan hanya untuk satu lajur,

yaitu lajur yang tersibuk (lajur dengan volume tertinggi). Lajur ini disebut lajur rencana. Pada jalan raya dua lajur dua arah, lajur rencana adalah salah satu lajur dengan volume kendaraan berat terbanyak, sedangkan pada jalan raya berlajur banyak, lajur rencana biasanya adalah lajur sebelah tepi dengan lalu lintas yang lebih lambat dan padat. Lintas ekivalen dapat diperoleh dengan langkah-langkah berikut ini :

1. Tentukan jumlah kendaraan dalam 1 hari/2 arah/total lajur yang dibedakan menurut jenis kendaraan. Pada perencanaan tebal perkerasan, mobil penumpang atau kendaraan ringan (berat kosong < 1500 kg) tidak diperhitungkan. Hal ini sesuai dengan pengaruh beban kendaraan tersebut yang sangat kecil terhadap perkerasan jalan. Bandingkan angka ekivalen mobil penumpang (0,0003) dengan angka ekivalen truk seberat 6 ton (0,2174).
2. Tentukan berat masing-masing sumbu berdasarkan survei timbang dari setiap jenis kendaraan berat.
3. Tentukan angka ekivalen dari setiap jenis kendaraan yang merupakan gabungan angka ekivalen sumbu depan dengan angka ekivalen sumbu belakang.
4. Tentukan persentase kendaraan yang berada pada lajur rencana yaitu lajur dengan volume kendaraan berat terbesar.

Menurut Bina Marga, jika ruas jalan bersangkutan tidak memiliki batas lajur maka jumlah lajur dapat ditentukan dengan berpedoman pada Tabel 4.4. berikut ini:

**Tabel 4.4.** Pedoman Penentuan Jumlah Lajur Menurut Bina Marga

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur
$L < 5,50 \text{ m}$	1 lajur
$5,50 \text{ m} < L < 8,25 \text{ m}$	2 lajur
$8,25 \text{ m} < L < 11,25 \text{ m}$	3 lajur
$11,25 \text{ m} < L < 15,00 \text{ m}$	4 lajur
$15,00 \text{ m} < L < 18,75 \text{ m}$	5 lajur
$18,75 \text{ m} < L < 22,00 \text{ m}$	6 lajur

Persentase kendaraan pada lajur rencana dapat ditentukan dengan menggunakan koefisien distribusi kendaraan yang direkomendasikan oleh Bina Marga seperti tercantum dalam Tabel 4.5.

**Tabel 4.5. Koeffisien Distribusi ke Lajur Rencana (Bina Marga)**

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*		Kendaraan Berat**	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 arah	1,00	1,00	1,00	1,00
2 arah	0,60	0,50	0,70	0,50
1 arah	0,40	0,40	0,50	0,475
2 arah		0,30		0,45
1 lajur		0,25		0,425
2 lajur		0,20		0,40
3 lajur				
4 lajur				
5 lajur				
6 lajur				

\* berat total < 5 ton, misalnya sedan, pick up.

\*\* berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, trailer.

Persentase kendaraan pada lajur rencana dapat juga diperoleh dari survei volume lalu lintas. Khusus untuk jalan tol dimana umumnya sebagian besar dari kendaraan memakai lajur kiri sedangkan lajur kanan dipergunakan hanya untuk menyiap/mendahului, maka persentase seperti tercantum pada Tabel 3.5. tidak dapat dipergunakan. Sebaiknya dipakai persentase yang diperoleh dari survei volume lalu lintas khusus untuk jalan tol.

5. Faktor pertumbuhan lalu lintas yang diperoleh dari hasil analisa data lalu lintas, perkembangan penduduk, pendapatan perkapita, rancangan induk daerah, dan lain-lain.
6. Lintas Ekvivalen pada saat jalan tersebut dibuka (LEP), diperoleh dari :

$$LEP = A_i \times E_i \times C_i \times (1+a)^{n'}$$

dimana :

$A_i$  : Jumlah kendaraan untuk 1 jenis kendaraan, dinyatakan dalam kendaraan/hari/2 arah untuk jalan tanpa median dan kendaraan/hari/1 arah untuk jalan yang dilengkapi dengan median.

$E_i$  : Angka ekivalen beban sumbu untuk satu jenis kendaraan.

$C_i$  : Koeffisien distribusi kendaraan pada lajur rencana.

$a$  : Faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan dari survei lalu lintas dilakukan sampai saat jalan tersebut dibuka.

$n'$  : Jumlah tahun dari saat diadakan pengamatan sampai jalan tersebut dibuka.

7. Lintas Ekvivalen pada akhir umur rencana (LEA), diperoleh dari:

$$LEA = LEP (1+r)^n$$

dimana :

LEP = Lintas Ekvivalen Permulaan, yaitu lintas ekvivalen pada saat jalan baru dibuka.

r = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.

n = Umur rencana jalan.

8. Lintas Ekvivalen selama umur rencana (AE18KSAL = Accumulative Ekvivalen 18 Kips Single Axle Load) diperoleh dari:

$$AE18KSAL = 365 \times LEP \times N$$

dimana :

AE18KSAL = Lintas Ekvivalen selama umur rencana

365 = Jumlah hari dalam setahun

LEP = Lintas ekvivalen awal umur rencana untuk setiap jenis kendaraan kecuali kendaraan ringan.

N = Faktor umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas.

Faktor ini merupakan faktor pengali yang diperoleh dari penjumlahan harga rata-rata setiap tahun.

Contoh :

1988 volume lalu lintas = a

1989 volume lalu lintas = (1+r)a

1990 volume lalu lintas = (1+r)<sup>2</sup> a

|

Akhir UR volume lalu lintas = (1+r) na

Rata-rata

$$\frac{1}{2} \{ a + (1+r)a \}$$

$$\frac{1}{2} \{ (1+r)a + (1+r)^2 a \}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \{ (1+r)^{n-1} + (1+r)^n \}}{Na}$$



$$AE18KSAL = 365 \times LEP \times N$$

dimana :

$$N = \frac{1}{2} \{1+(1+r)\} + \frac{1}{2} \{(1+r)+(1+r)^2\} + \frac{1}{2} \{(1+r)^2 + \dots + (1+r)^3\} + \frac{1}{2} \{(1+r)^{n-1} + (1+r)^n\}$$

$$= \frac{1}{2} \{1+(1+r)^n + \frac{2(1+r) \{(1+r)^{n-1} - 1\}}{r}\}$$

r = faktor pertumbuhan lalu lintas

n = umur rencana.

Besarnya nilai N dapat dilihat pada Tabel 4.6. berikut ini.

**Tabel 4.6.** Nilai N untuk Perhitungan AE18KSAL

Umur Rencana (Tahun)	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas					
	2%	4%	5%	6%	8%	10%
1	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05
2	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3	3,09	3,18	3,23	3,30	3,38	3,48
4	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5	5,25	5,53	5,66	5,80	6,10	6,41
6	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,10
7	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8	8,70	9,51	9,62	10,20	11,05	12,00
9	9,85	10,79	11,30	11,84	12,99	14,26
10	11,05	12,25	12,90	13,60	15,05	16,73
15	17,45	20,25	22,15	23,90	28,30	33,36
20	24,55	30,40	33,90	37,95	47,70	60,20

#### 4.5. SIFAT TANAH DASAR

Subgrade atau lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah dimana di atasnya diletakkan lapisan material yang lebih baik. Sifat tanah dasar ini mempengaruhi ketahanan lapisan di atasnya dan mutu jalan secara keseluruhan. Banyak metode yang dipakai untuk menentukan daya dukung tanah dasar, khususnya di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal perkerasan ditentukan dengan menggunakan pemeriksaan CBR (California Bearing Ratio) yang diperoleh dari hasil pemeriksaan contoh tanah yang telah disiapkan di laboratorium atau langsung di lapangan. Sebelum team lapangan mulai mengambil contoh

tanah perlu diadakan serangkaian penelitian oleh team ahli yang dapat memutuskan berapa perkiraan ketinggian elevasi tanah dasar rencana, sebagai berikut :

- Jika badan jalan terletak di atas tanah timbunan dimana tinggi tanah timbunan lebih besar dari 1 meter, maka contoh tanah untuk pemeriksaan CBR cukup diambil dari rencana bahan timbunan. Tetapi jika tinggi tanah timbunan lebih kecil dari 1 meter, maka contoh tanah harus diambil dari contoh tanah bahan timbunan dan juga dari contoh tanah asli pada lokasi rencana jalan.
- Jika badan jalan terletak di atas tanah galian, perlu diketahui terlebih dahulu kedalaman galian dari muka tanah asli sehingga dapat dipastikan apakah pembuatan sumur uji (test-pit) sampai kedalaman pengambilan contoh tanah dapat dilakukan atau nilai daya dukung tanah cukup diperoleh dari perkiraan secara empiris dengan menggunakan hasil analisa saringan dan pemeriksaan batas-batas plastis dari contoh tanah yang diperoleh dengan pemboran.
- Jika badan jalan terletak hampir sama dengan muka tanah asli, pengambilan contoh tanah dilakukan di sepanjang trase rencana. Lokasi pengambilan contoh dilakukan dari jenis tanah di sepanjang jalan. Interval 1 km dapat dipergunakan sebagai guidance jika terletak pada jenis tanah yang sama. Pengambilan contoh tanah tambahan harus dilakukan pada setiap pergantian jenis tanah atau kondisi lingkungan dan lokasi yang diragukan keadaan tanahnya.

#### 4.5.1. Nilai CBR pada Satu Titik Pengamatan

Seringkali jenis tanah dasar itu berbeda-beda sehubungan dengan perubahan kedalaman pada satu titik pengamatan. Untuk itu perlu ditentukan nilai CBR yang mewakili titik tersebut. Japan Road Association merekomendasikan rumus sebagai berikut:

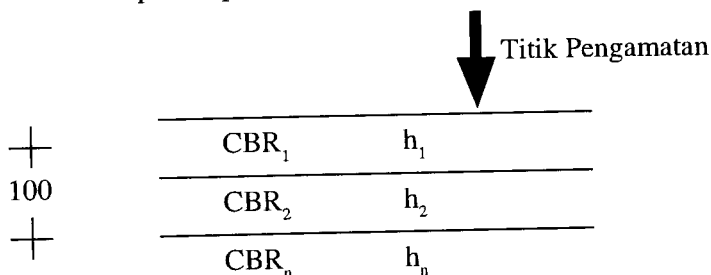
$$CBR_{\text{titik pengamatan}} = \left[ \frac{h_1 \sqrt[3]{CBR_1} + h_n \sqrt[3]{CBR_n}}{100} \right]^3$$

dimana :

$h_n$  : tebal tiap lapisan tanah ke-n

100 : tebal lapisan tanah yang diamati dalam cm

$CBR_n$  : nilai CBR pada lapisan ke-n.



**Gambar 4.5.** Lapisan Tanah pada suatu Titik Pengamatan

#### 4.5.2. CBR Segmen Jalan

Jalan dalam arah membujur cukup panjang dibandingkan dengan jalan dalam arah melintang yang mungkin saja melintasi jenis tanah, keadaan medan yang bervariasi, kekuatan tanah dasar yang bervariasi antara nilai yang baik dan jelek. Dengan demikian tidaklah ekonomis jika perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai yang terjelek atau nilai terbesar saja. Sebaiknya panjang jalan tersebut dibagi atas segmen-segmen jalan dimana setiap segmen mempunyai daya dukung yang hampir sama. Jadi segmen jalan adalah bagian dari panjang jalan yang mempunyai daya dukung tanah, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relatif sama. Setiap segmen mempunyai satu nilai CBR yang mewakili daya dukung tanah dasar dan dipergunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan dari segmen tersebut. Berikut ini adalah faktor-faktor yang harus diperhatikan pada penggunaan CBR (CBR Rencana) :

1. Pada perencanaan jalan baru dimana tanah dasarnya adalah tanah galian, perencanaan tebal perkerasan menggunakan CBR yang diperoleh secara empiris dari hasil contoh tanah yang diambil dengan menggunakan bor tanah. Pengontrolan CBR yang diperoleh pada saat pelaksanaan dan hubungannya dengan tebal perkerasan rencana di atasnya harus diamati dengan teliti.
2. Pada perencanaan jalan baru dimana tanah dasarnya merupakan tanah timbunan, perencanaan tebal perkerasan menggunakan CBR yang diperoleh dari contoh tanah bakal tanah timbunan (borrow material). Kontrol yang teliti dari hasil selama pelaksanaan dan perbandingan dengan nilai rencana harus selalu dilakukan.
3. Pada lokasi rencana jalan yang mempunyai intensitas hujan yang tinggi, perhatian terhadap drainase harus ditingkatkan.
4. Banyaknya data dan ketelitian data yang diperoleh untuk suatu lokasi jalan mempengaruhi hasil perencanaan. Hasil perencanaan dapat kurang memenuhi ketebalan lapisan perkerasan yang dibutuhkan (under design) sehingga mengakibatkan biaya rehabilitasi dan pemeliharaan besar, atau terlalu tebal (over design) yang mengakibatkan initial cost besar.
5. Pada segmen dimana terdapat daerah yang lemah dengan nilai CBR kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata CBR segmen, sebaiknya ditentukan dengan terlebih dahulu diadakan evaluasi apakah nilai CBR yang rendah tersebut akan diperhitungkan atau diasumsikan sama dengan nilai terkecil kedua tetapi dengan pertimbangan kondisi tanah di daerah tersebut akan diperbaiki.

#### 4.6. KONDISI LINGKUNGAN

Kondisi lingkungan dimana lokasi jalan tersebut berada, mempengaruhi lapisan perkerasan jalan dan tanah dasar antara lain :

- Sifat teknis konstruksi perkerasan dan sifat komponen material lapisan perkerasan.
- Pelapukan bahan material
- Penurunan tingkat kenyamanan dari perkerasan jalan.

Faktor utama yang mempengaruhi konstruksi perkerasan jalan adalah air yang berasal dari hujan dan pengaruh perubahan temperatur akibat perubahan cuaca.

#### **4.6.1. Air dan Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Adanya aliran air di sekitar badan jalan dapat mengakibatkan rembesan air ke badan jalan, yang dapat menyebabkan :

- Ikatan antara butir-butir agregat dan aspal lepas, sehingga lapisan perkerasan tidak lagi kedap air dan rusak.
- Perubahan kadar air mempengaruhi sifat daya dukung tanah dasar.

Aliran air di sekitar lapisan perkerasan dapat berasal dari :

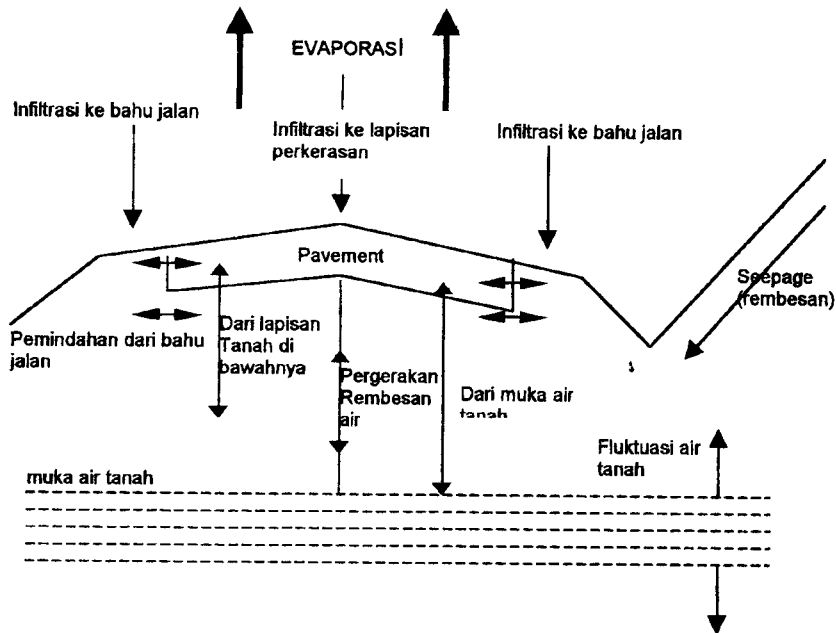
- Seepage dari tempat yang lebih tinggi di sekitar konstruksi perkerasan. Hal ini terjadi terutama pada badan jalan tanah galian.
- Fluktuasi ketinggian muka air tanah.
- Infiltrasi air melalui permukaan perkerasan atau bahu jalan.
- Rembesan air dari tempat yang lebih basah ke tempat yang lebih kering.

Besarnya intensitas aliran air ini tergantung dari :

- Presipitasi (hujan) dan intensitas hujan sehubungan dengan iklim setempat. Air hujan akan jatuh ke badan jalan dan masuk ke lapisan tanah dasar melalui bahu jalan. Aliran air secara horizontal ke lapisan perkerasan terjadi jika kadar air tinggi di bahu jalan dan rendah di bawah lapisan perkerasan jalan. Hal ini dapat diatasi dengan membuat bahu jalan dari tanah berbutir kasar.
- Sifat kapilaritas dari tanah dasar. Jika tanah dasar mempunyai kadar air rendah dan di bawahnya terdapat air tanah, maka air dapat merembes ke atas akibat adanya gaya kapiler. Besarnya kemampuan ini ditentukan oleh jenis tanah dasar itu sendiri.

Intensitas aliran air juga ditentukan oleh kondisi drainase di sekitar badan jalan tersebut. Aliran air pada badan jalan kurang mempengaruhi kadar air tanah dasar jika drainase jalan tersebut baik. Besar kecilnya bangunan drainase yang dibuat tergantung dari :

- Intensitas hujan, semakin tinggi intensitas hujan di daerah tersebut semakin banyak air yang harus dialirkan, maka semakin besar kebutuhan akan drainase.
- Keadaan medan dan ketinggian muka air tanah dari elevasi tanah dasar.



**Gambar 4.6.** Pergerakan Air di Badan Jalan

Tanah dasar pada tanah galian umumnya mempunyai muka air tanah yang tinggi, sehingga harus dilengkapi dengan bangunan drainase bawah tanah yang baik. Dengan demikian kondisi yang terbaikyaitu dapat memelihara kadar airdalam keadaan seimbang. Hal ini dapat dilakukan dengan :

- Membuat drainase di tempat yang diperlukan
- Bahu jalan dipilih dari material yang cepat mengalirkan air, di tempat tertentu dibuat dari lapisan kedap air.
- Tanah dasar dipadatkan pada keadaan kadar air optimum sehingga dicapai kepadatan yang baik.
- Menggunakan tanah dasar yang distabilisasi.
- Menggunakan lapisan permukaan yang kedap air.
- Lapisan perkerasan dibuat lebih lebar dari lebar yang dibutuhkan.

#### **4.6.2. Perubahan Temperatur**

Perubahan temperatur di Indonesia dapat terjadi karena perubahan musimdari musim penghujan ke musim kemarau (atau sebaliknya) atau karena pergantian siang dan malam, tetapi perubahan yang terjadi tidak sebesar di daerah dengan 4 musim.

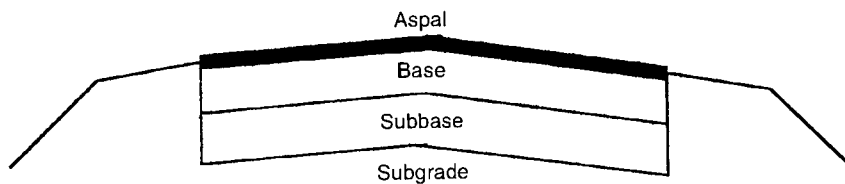
#### **4.7. SIFAT MATERIAL LAPISAN PERKERASAN**

Perencanaan tebal lapisan perkerasan juga ditentukan dari jenis lapisan perkerasan. Hal ini berkaitan dengan tersedianya material di lokasi dan mutu material tersebut.

#### 4.8. BENTUK GEOMETRIK LAPISAN PERKERASAN

Bentuk geometrik lapisan perkerasan jalan mempengaruhi cepat atau lambatnya aliran air meninggalkan lapisan perkerasan jalan. Pada umumnya bentuk geometrik perkerasan dapat dibedakan atas :

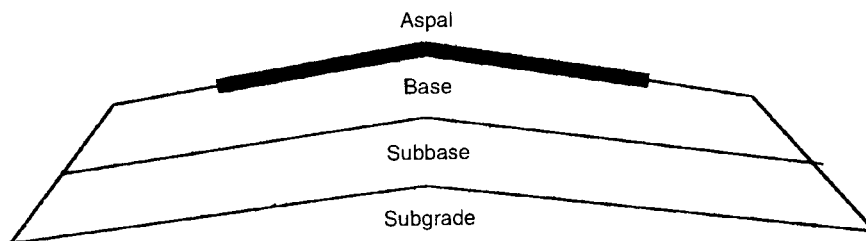
##### Konstruksi berbentuk kotak (*boxed construction*)



**Gambar 4.7.** Lapisan Perkerasan berbentuk kotak

Lapisan perkerasan diletakkan di dalam lapisan tanah dasar. Kerugian dari jenis perkerasan ini adalah air yang jatuh di atas permukaan perkerasan dan masuk melalui lubang-lubang pada perkerasan, lambat keluar karena tertahan oleh material tanah dasar.

##### Konstruksi Penuh Sebadan Jalan (*Full Width Construction*)



**Gambar 4.8.** Lapisan Perkerasan Selebar Badan Jalan

Lapisan perkerasan diletakkan di atas tanah dasar pada seluruh badan jalan. Keuntungannya air yang jatuh dapat segera dialirkan keluar lapisan perkerasan.

## ***Bab 5 Perancangan Tebal Perkerasan***

### **5.1. PENDAHULUAN**

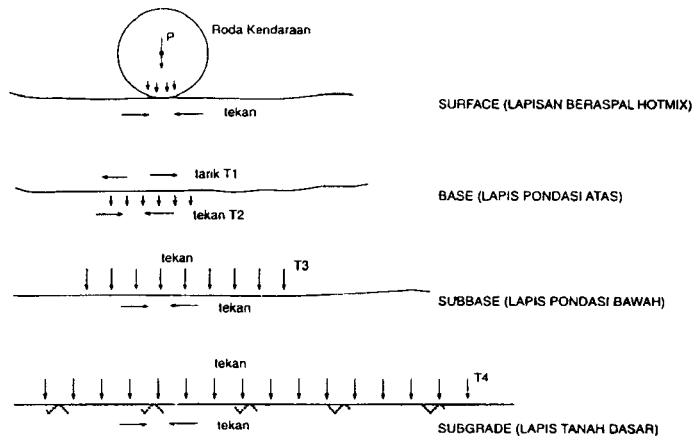
Bab ini memuat dasar-dasar perancangan tentang perancangan tebal perkerasan, meliputi: Konsep kerusakan pada perkerasan karena kelelahan akibat beban berulang, faktor beban, faktor daya dukung tanah, perancangan tebal perkerasan lentur (flexible pavement), perancangan tebal perkerasan kaku (rigid pavement) dan perancangan tebal perkerasan lentur. D.U. Soedarsono.

### **5.2. KONSEP KERUSAKAN PADA PERKERASAN KARENA KELELAHAN AKIBAT BEBAN BERULANG**

Pada Gambar 5.1. terlihat suatu lapisan lentur yang terdiri dari beberapa lapis yaitu: lapisan permukaan berasal dari aspal hotmix, basem subbase, dan subgrade. Pada saat menerima beban roda lapisan perkerasan melentur dan pada lapisan bekerja tegangan-tegangan tekan maupun tarik. Karenan beban roda tersebut terjadi berulang-ulang, maka tegangan-tengangan tersebut juga berulang.

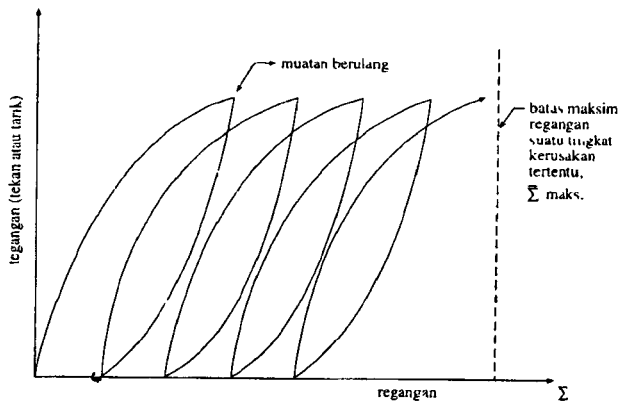
Lapisan permukaan merupakan suatu lapisan yang “bound” (terikat), sehingga lapisan tersebut dapat menahan gaya tekan tarik. Umumnya karena lapisan perkerasan ini dapat mendukung tegangan tekan yang lebih besar daripada tegangan tarik, maka tegangan tarik dibagian bawah lapisan biasanya lebih menentukan dalam umur tekanan terhadap beban berulang.

Pada lapisan base, sub-base dan sub-grade, lapisan umumnya terdiri dari bahan granular (berbutir) yang lepas. Bahan seperti ini dapat menahan tekan tetapi dapat dianggap praktis tidak dapat menahan tegangan tarik. Jadi lapisan ini hanya menahan beban tekan saja dan deformasi yang terjadi dianggap hanya akibat beban tekan pada permukaan lapisan saja.



**Gambar 5.1.** : Tegangan tekan dan titik pada perkerasan jalan

Misalkan pada perkerasan jalan tersebut terjadi beban berulang roda sebesar  $P$  ton berkali-kali pada lapisan tersebut dapat digambarkan hubungan tegangan-tegangan yang terjadi, tegangan tarik yang terjadi pada lapisan aspal dan tegangan tekan pada lapisan-lapisan bawahnya, akibat beban berulang seperti terlihat pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2** : Ilustrasi tegangan-tegangan akibat beban berulang pada lapisan.

Masing-masing lapisan memiliki batas maksimum,  $E_{\max}$  sendiri-sendiri dimana bila batas regangan tersebut dicapai akan terlihat adanya suatu tingkat kerusakan tertentu yang nyata. Demikian pula pada masing-masing lapisan terjadi tegangan (tarik atau tekan) yang tidak sama (misalnya  $r_1, r_2, r_3$  dan  $r_4$  pada gambar 5.1). Jadi dari tiap lapisan dapat digambarkan grafik  $r$ - $E$  sendiri-sendiri dengan batas  $E_{\max}$  yang berlainan pula.



Batas regangan maksimum,  $E_{\max}$  ini dapat dianggap sebagai batas kelainan dari perkerasan akibat beban berulang. Batas regangan maksimum umumnya tergantung dari dua hal yaitu :

- a. Mutu atau kualitas bahannya sendiri, yang juga tergantung antara lain dari jenis material yang dipakai, kualitas pekerjaan, suhu dan iklim.
- b. Ketentuan kondisi tingkat perkerasan yang disyaratkan : persyaratan ini biasa dikenal dengan final serviceability performance Pt (AASHTO,1972) atau sebagai indeks permukaan akhir (Ipt) (Bina Marga 1987). Makin rendah Pt atau Ipt, makin besar tingkat kerusakan yang terjadi dan makin besar harga  $E_{\max}$  yang disyaratkan.

Perkerasan sangat tergantung dari beban roda P, konfigurasi roda kendaraan, dan dua faktor pokok sebagai berikut :

- a. tebal masing-masing lapisan, dan
- b. kualitas bahan (juga tergantung dari kualitas material, pengerjaan, temperatur dan iklim lingkungan).

Pada umumnya, lapisan yang lebih atas terbuat dari material yang lebih baik sehingga dapat menerima tegangan yang lebih besar. Kerusakan perkerasan jalan akan terjadi / dimulai dari lapisan yang berakibat beban berulang mencapai  $E_{\max}$  yang lebih dahulu. Jadi kerusakan bisa terjadi dari subgrade dahulu, subbase dahulu, base dahulu, atau surface dahulu, tergantung dari bagaimana perencanaannya.

Bila regangan pada suatu lapisan telah mencapai regangan maksimum,  $E_{\max}$  (pada lapisan lainnya beban berulang menyebabkan regangan yang berarti), maka pada lapisan tersebut mulai terjadi kerusakan yang kemudian dengan cepat mulai menjalar ke lapisan-lapisan lainnya. Jadi, idealnya suatu perkerasan supaya dirancang sedemikian rupa sehingga  $E_{\max}$  pada masing-masing lapisan dapat dicapai pada saat yang sama jumlah repetisi beban yang sama.

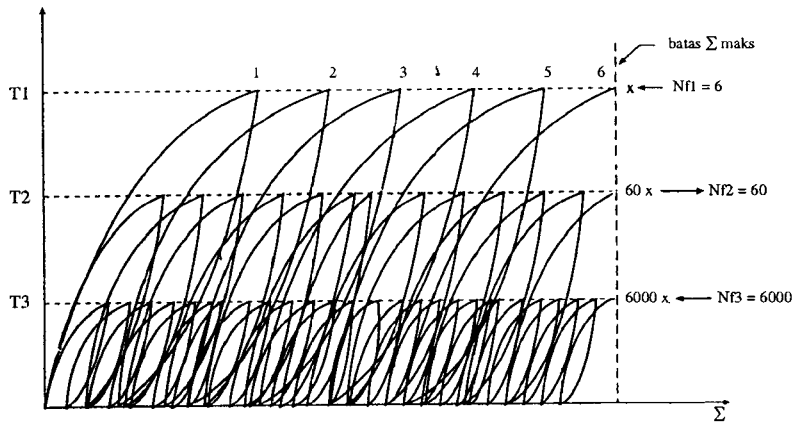
Pada perancangan dibuat perkerasan yang baik, seyogyanya perkerasan dibuat agar kerusakan terjadi pada lapisan permukaan dahulu, lapisan yang lebih bawah pada saat yang sama masih relatif baik. Jadi kalau ada perbaikan langsung, perbaikan dapat dilaksanakan hanya pada lapisan permukaan tersebut sehingga umur perkerasan dapat diperpanjang. Pada suatu saat nanti bila kelelahan telah terjadi disemua lapisan, barulah diperlukan perbaikan/ peningkatan yang menyeluruh disemua perkerasan.

### **5.3. FAKTOR BEBAN**

#### **6.3.1. Beban Equivalen dan Damage Factor**

Pada suatu lapisan perkerasan tertentu, misalnya pada surface, atau base, ataupun pada sub grade, maka tegangan yang lebih kecil akan menghasilkan regangan yang jauh lebih kecil pula. Jadi, diperlukan repetisi beban yang jauh lebih banyak untuk mencapai batas kelelahan,  $E_{\max}$ , misalnya seperti pada Gambar 5.3. tegangan  $r_1$  menghasilkan regangan sedemikian

rupa sehingga diperlukan repetisi beban 6 kali untuk mencapai  $E_{\max}$  ( $Nf_1 = 6$ ,  $N$ =number of repetition, dan  $f$ = at failure). Misalkan untuk beban  $r_2$ , diperlukan beban repetisi sebanyak 60 kali untuk mencapai  $E_{\max}$  ( $Nf_2 = 60$ ). Bila tegangan tersebut lebih kecil lagi menjadi  $r_3$  misal karena tebal lapisan lebih besar, mutu bahan perkerasan lebih baik, atau karena beban roda  $P$  yang lebih kecil maka untuk mencapai  $E_{\max}$  diperlukan repetisi yang lebih banyak lagi (misal  $Nf_3 = 6000$ ).



**Gambar 5.3.** : Perbandingan diagram r-E untuk tegangan yang bervariasi dalam lapisan perkerasan tertentu.

Dari gambar 5.3. terlihat bahwa makin kecil  $r_i$  maka makin banyak repetisi yang dapat diterima oleh lapisan perkerasan sampai mencapai kerusakan. Karena jumlah repetisi beban umumnya berkaitan langsung dengan umur perkerasan, maka untuk memperpanjang umur perkerasan perlu dilakukan usaha untuk memperkecil  $r$ . usaha mengurangi  $r$  ini dapat dilakukan antara lain dengan :

- Mempertebal lapisan.
- Memakai lapisan yang lebih baik mutunya.
- Mengurangi beban roda  $P$ .

Mengurangi beban roda  $P$  juga dapat dilakukan dengan : memperbanyak jumlah roda kendaraan atau memperbanyak jumlah sumbu kendaraan ( dari single axle menjadi tandem / biaxies, atau menjadi tridem / triaxies). Dengan makin mengecilnya  $P$  berarti makin mengecil pula tegangan roda pada bidang kontak antara ban permukaan perkerasan, maka makin panjang umur perkerasan.

Dari Gambar 5.3. juga dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- Beban  $P_1$  menghasilkan  $r_1$  sehingga  $E_{max}$  dicapai pada  $Nf_1 = 6$  kali repetisi.
- Beban  $P_2 < P_1$  menghasilkan  $r_2$  sehingga  $E_{max}$  dicapai pada  $Nf_2 = 60$  kali repetisi.
- Beban  $P_3 < P_2$  menghasilkan  $r_3$  sehingga  $E_{max}$  dicapai pada  $Nf_3 = 6000$  kali repetisi.

Ini berarti (bila ukuran roda dan luas bidang kontak sama) beban  $P_2$ , dan juga ekuivalen dengan 6000 kali repetisi beban  $P_3$ .

Jadi 1 kali repetisi beban  $P_1$  ( 10 kali repetisi beban  $P_2$  ( 1000 kali repetisi beban  $P_3$  atau 1 kali repetisi beban  $P_3$  ( 1/100 kali repetisi beban  $P_2$  ( 1/1000 kali repetisi beban  $P_1$ .

atau dengan singkatnya dapat dianggap

$$1 P_1 \approx 10 P_2 \approx 1000 P_3, \text{ atau}$$

$$1/10 P_1 \approx 1 P_2 \approx 100 P_3, \text{ atau}$$

$$1/1000 P_1 \approx 1/100 P_2 \approx 1 P_3,$$

Inilah yang dianggap prinsip dasar ekivalensi bagi beban kendaraan pada jalan.

Dari Gambar 5.3. dapat juga ditarik kesimpulan bahwa bila misalnya beban  $P_2$  ( $=r_1$ ) lewat 1 x maka didapat tingkat regangan.

Pada perkerasan  $E \approx 1/6 E_{max}$ , bila misalnya  $E = 1/6 E_{max}$  ini dipakai sebagai satuan tingkat kerusakan, diambil istilah Damage Factor = 1 bila regangan  $E = 1/6 E_{max}$ , maka beban  $P_1$  lewat 1 x akan menghasilkan Damage Factor (DF=1). Analog, beban  $P_2$  lewat 1 kali akan menghasilkan  $DF = 1/10 = 0,1$  dan beban  $P_3$  lewat 1 kali akan menghasilkan  $DF = 1/1000 = 0,001$ . Jadi yang disebut Damage Factor itu sama saja dengan ekuivalen beban, hanya tergantung pada beban  $P$  yang maka satuan  $DF = 1$  ditetapkan.

Bila  $P_1$  ditetapkan sebagai penghasil unit  $DF = 1$  setiap lewat 1 maka :  $DF P_1 = 1$  ;  $DF P_2 = 0,1$  dan  $DF P_3 = 0,001$ . Sebaliknya bila  $P_2$  yang ditetapkan sebagai penghasil unit  $DF = 1$  (berarti satuan tingkat kerusakan ditentukan bila  $E = 1/60 E_{max}$ ) maka :

$$DF P_2 = 1 ; DF P_1 = 10 \text{ dan } DF P_3 = 0,01.$$

Analog bila :

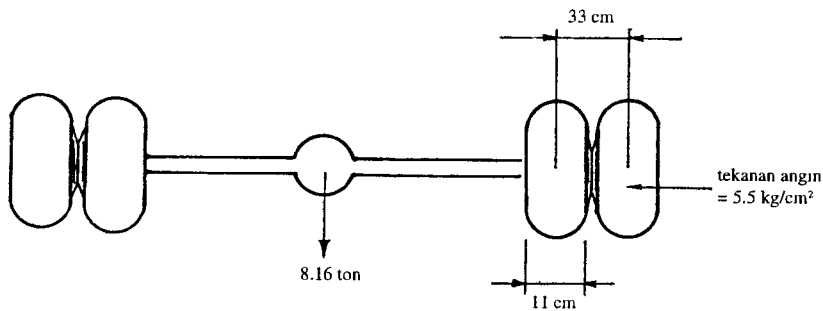
$$DF P_3 = 1 \text{ maka } DF P_1 = 1000 \text{ dan } DF P_2 = 100$$

Jadi tergantung dari mana beban yang dipakai sebagai satuan unit standar, maka harga  $DF$  akan berbeda-beda. Akan tetapi semua unit tersebut tidak akan merubah kenyataan bahwa lapis permukaan yang ditinjau akan rusak pada regangan sebesar  $E_{max}$ .

### 5.3.2. Beban As Standar dan Ekuivalen Beban As Lainnya

Pada AASHO Road Test di negara bagian Illinois, USA (AASHTO) 1960), telah dilakukan pengujian bermacam-macam jenis dan struktur perkerasan jalan, lentur maupun kaku, untuk diketahui kekuatannya. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan as 18000 lbs (8.16

ton) pada as beroda tunggal ganda seperti pada Gambar 5.4. Dengan beban tersebut dapat diketahui jumlah repetisi yang dapat ditanggung oleh bermacam-macam struktur perkerasan sampai pada tingkat kerusakan yang ditinjau. Dari hasil tersebut keluarlah perumusan untuk menghitung tebal perkerasan oleh AASHTO (1972) yang pada prinsipnya masih digunakan sampai sekarang dan menjadi dasar bagi cara Bina Marga (1987).



**Gambar 5.4 : Konfigurasi beban as standar**

Beban as standar di Gambar 5.4. dikenal dengan nama Standard Single Axle Load. Untuk beban-beban as lain yang besarnya  $P1 = 18000$  lbs maka digunakan prinsip beban ekuivalen dan Damage Factor.

Untuk menghitung tebal perkerasan, umumnya digunakan unit (satuan) beban as standar 8,16 ton diatas melintas 1 kali menghasilkan  $DF = 1$ . Biasanya satuan untuk perancangan ini tidak disebut dalam Damage Factor tetapi dalam Equivalent Standard Axle Load atau Equivalent Axle Load (EAL) saja. Sebenarnya sama saja sebab :

1 beban as standar lewat 1 kali menghasilkan  $DF = 1$  dan ini berarti telah terjadi repetisi sebanyak 1 (satu EAL pada perkerasan tersebut. Selanjutnya, Bina Marga (1976) menyebut istilah EAL hanya sebagai E (Ekivalen) saja.

Dengan satuan beban as standar 8,16 ton, dapat dicari korelasi ekuivalen beban-beban as yang lain sebagai berikut :

**Menurut Bina Marga (1976) (semua roda ganda)**

$$E_{\text{sumbu tunggal}} = \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal (ton)}^4}{8,16} \right\} \dots\dots\dots 5.3.1.$$

$$E_{\text{sumbu ganda (tandem)}} = 00.086 \left\{ \frac{\text{beban sumbu ganda (ton)}^4}{8,16} \right\} \dots\dots\dots 5.3.2.$$

Menurut NAASRA, Australia (1979) :

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda tunggal}} = \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal, roda tunggal (ton)}^4}{5,40} \right\} \dots\dots 5.3.3.$$

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda ganda}} = \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal (ton)}^4}{8,16} \right\} \dots\dots 5.3.4.$$

$$E_{\text{sumbu ganda, roda ganda}} = \left\{ \frac{\text{beban sumbu ganda (ton)}^4}{13,77} \right\} \dots\dots 5.3.5.$$

$$E_{\text{sumbu triple, roda ganda}} = \left\{ \frac{\text{beban sumbu triple (ton)}^4}{18,45} \right\} \dots\dots 5.3.6.$$

Sebagai tambahan, menurut hasil penelitian oleh Irmawan dan Mochtar (1990) didapatkan korelasi sebagai berikut :

$$E_{\text{sumbu tunggal, roda tunggal}} = 50 \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal (ton)}^{4,51}}{8,16} \right\} \dots\dots 5.3.7.$$

$$E_{\text{sumbu tandem, roda ganda}} = 0,0654 \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal (ton)}^{4,51}}{8,16} \right\} \dots\dots 5.3.8.$$

$$E_{\text{sumbu triple, roda ganda}} = 0,01 \left\{ \frac{\text{beban sumbu tunggal (ton)}^{4,51}}{8,16} \right\} \dots\dots 5.3.9.$$

Perlu diketahui bahwa beban sumbu tunggal dengan roda tunggal menghasilkan nilai EAL yang tinggi karena bentuk lendutan yang ditimbulkan. Makin kecil “radius of curvature” dari lendutan (akibat beban dengan bidang kontak yang kecil), makin besar tegangan yang dihasilkan : berarti makin tinggi Damage Factornya. Sebaliknya beban as tandem dan tridem menghasilkan bidang kontak yang lebih luas dan radius of curvature lendutan yang lebih besar. Jadi otomatis nilai r dan E yang terjadi jauh lebih kecil.


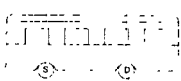
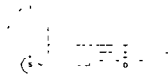

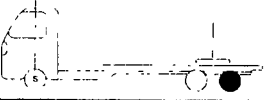

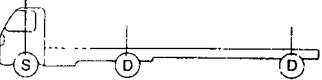
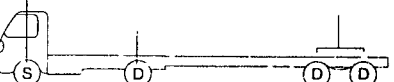
Dari hasil AASTHO Road Test (1960) telah pula disusun Tabel EAL, yang memberikan angka ekivalen untuk beban sumbu tunggal dan sumbu tandem yang besarnya pada umumnya berkisar antara perumusan oleh bina Marga (1972) serta Imawan dan Mochtar (1990).

Umumnya beban as tandem dan tridem menghasilkan nilai ekivalen E (juga Demage Factor) yang jauh lebih kecil daripada beban sumbu tunggal, walaupun beban P1 relatif lebih besar. Jadi untuk mengurangi tingkat kerusakan pada perkerasan jalan, truk-truk besar dengan muatan yang berat diharuskan untuk menggunakan as tandem atau tridem (as tandem lebih umum dipakai).

### **5.3.3. Jenis Kendaraan dan Konfigurasi Roda Kendaraan**

Jenis kendaraan yang beroperasi di jalanan di Indonesia bervariasi mulai dari sedan, pick-up, mini bus, bus ringan, truk ringan, bus besar, truk besar, truk gandeng, truk peti kemas, dan lain-lain. Konfigurasi roda kendaraan dan as kendaraan umumnya dapat diberikan seperti pada Gambar 5.5. Misalnya simbol 1.2. menyatakan bahwa kendaraan tersebut terdiri dari 2 as depan dan belakang. As depan terdiri dari roda tunggal, sedangkan as belakang terdiri dari roda ganda. Jadi yang diperlukan kemudian ialah pembagian beban per as dan ini sangat tergantung dari cara pemberian beban pada kendaraan.

Bina Marga (1979) memberikan patokan jenis kendaraan sebagai berikut harga Angka Kendaraan Ekivalen Beban As Standar ( $=E=EAL$ ) yaitu seperti pada Tabel 5.1. Pada tabel ini terlihat distribusi pembebanan pada kendaraan, bagi masing-masing sumbu/as kendaraan.

KONFIGURASI SUMBU & TIRE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1,1 RF	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0004	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">       S D     </div>
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUCK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1.22 TRUCK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2+ 2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	
1.2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,117	
1,2-22 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

**Tabel 5.1.** Konfigurasi roda kendaraan dan angka ekivalen 8,16 to beban As tunggal (E=EAL) (sumber : Bina Marga, 1979).

Hasil Bina Marga pada Tabel 5.1. berlaku untuk semua jenis dan muatan. Yang ditinjau hanyalah kendaraan kosong dan isi. Bila dianggap berisi, dianggap kendaraan/truck tersebut bermuatan penuh. Misalnya truck 1.2. H pada waktu kosong dianggap bermuatan memiliki berat 4,2 ton dan pada waktu bermuatan dianggap bermuatan maksimum 18,2 ton. Bila misalnya truck tersebut hanya setengah bermuatan, juga dianggap bermuatan maksimum. Akan tetapi bila truck tersebut bermuatan melebihi Tabel 5.1. tersebut maka akan terjadi salah perhitungan. Kenyataan di lapangan akan jauh melebihi estimasi sesuai Tabel 5.1. tersebut (dan hal ini sangat umum terjadi di Indonesia).

Dengan pengukuran beban sara WIM (Weight in Motion), semua beban as yang berlebihan juga akan tercatat sehingga kesalahan perencanaan tebal perkerasan dapat diperkecil.

AASHTO umumnya melakukan survey kendaraan dengan cara WIM (Weight in Motion) pada Loadometer Station. Dari survey ini dapat langsung diperoleh jenis beban-beban yang melintasi suatu jalan.

#### **5.4. FAKTOR DAYA DUKUNG TANAH DASAR**

Daya dukung tanah dasar pada perkerasan jalan dinyatakan dengan harga CBR (California Bearing Ratio). Harga CBR ialah harga daya dukung relatif (dalam %) terhadap harga standar, yaitu harga CBR = 100 %. Harga CBR = 100 % adalah sama dengan harga perlawanan dipermukaan lapisan tanah/perkerasan bila alat CBR yang berbentuk piston luas 3 inchi ditekan kedalam tanah sehingga :

- penetrasi 0,1 inchi menghasilkan perlawanan 3000 pounds (atau  $r = 1000$  psi), atau
- penetrasi 0,2 inchi menghasilkan perlawanan 4500 pounds (atau  $r = 1500$  psi).

Harga CBS = 100 % ini umumnya didapatkan pada lapisan kerikil batu pecah kelas A telah dipadatkan sesuai kepadatan maksimumnya. Bila alat test CBR diujikan di atas lapisan tanah dan kemudian didapat harga sebagai berikut :

- penetrasi 0,1 inchi, perlawanan = 500 lbs (= pounds)
  - penetrasi 0,2 inchi, perlawanan = 800 lbs (= pounds)
- jadi  $CBR\ 0,1" = (500/3000) * 100\ \% = 16,7\ \%$ , atau

$$CBR\ 0,2" = (800/4500) * 100\ \% = 17,8\ \%$$

Harga tanah adalah yang terkecil dari dua harga tersebut (=16,7 %).

Harga CBR ini mewakili daya dukung tanah untuk lapisan yang relatif lebih tipis (20-30 cm), luas bidang kontak roda truck, dan untuk beban sementara (bukan untuk beban tetap seperti beban pondasi karena beban tetap juga mungkin menyebabkan penurunan konsolidasi). Jadi CBR ini tidak digunakan untuk mengukur daya dukung tanah yang tebal di bawah pondasi bangunan yang memiliki bidang kontak yang luas. Untuk jelasnya silahkan baca Asphalt Institute (1970), Soil Manual MS-10.



Pada pelaksanaan tes CBR di lapangan, banyak dijumpai kesulitan. Selain relatif sulit juga makan waktu, kurang praktis, dan sangat terpengaruh kondisi cuaca. Oleh karena itu pendataan CBR lapangan biasanya dilakukan secara tak langsung, dengan bantuan alat Dynamic Cone Penetration (DCP). Alat DCP ini berbentuk seperti tombak yang ditumbukkan pada permukaan lapisan tanah sub grade. Dari sulit mudahnya pemancangan alat DCP pada tanah sub grade dapat dihasilkan daya dukung tanah sub grade tersebut, yang kemudian hasil tes DCP tersebut dapat dikorelasikan menjadi harga CBR.

Harga daya dukung tanah dasar (juga harga CBR) sangat dipengaruhi oleh :

- a. kepadatan tanah, makin padat makin tinggi daya dukungnya
- b. kadar air, makin tinggi kadar air biasanya makin kecil daya dukungnya.

Jadi agar didapatkan daya dukung yang lebih tinggi, tanah lapisan perkerasan harus dipadatkan. Kadar air lebih berpengaruh pada tanah lempung dan lanau, sedangkan untuk tanah pasir dan kerikil umumnya kadar air tidak begitu mempengaruhi daya dukung tanah.

## **5.5. PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN LENTUR**

### **5.5.1. Cara AASHTO (1981)**

#### **a. Prinsip Dasar Lalulintas**

AASHTO Road Test menggunakan beban kendaraan yang sama secara berulang-ulang. Pada kenyataannya lalulintas terdiri dari beragam beban dengan konfigurasinya. Prosedur AASHTO adalah mengkonversi beban sumbu yang bermacam-macam tersebut terhadap beban standar dan mengungkapkan jumlah lalulintas campur tersebut di atas sebagai jumlah dari beban sumbu yang telah dikonversi. Beban sumbu standar yang dipakai adalah beban sumbu tunggal 18 kip (80 kN). Jadi lalulintas dinyatakan sebagai beban ekuivalen tunggal 18 kip atau 80 kN.

#### **b. Perhitungan EAL pada Lajur Rencana Selama Umur Rencana**

Prosedur perhitungan meliputi :

1. Penentuan faktor ekuivalen beban.
2. Konversi lalulintas campur terhadap beban ekuivalen sumbu tunggal 18 kip.
3. Pertimbangan distribusi lajur.

FEB jika dikalikan dengan jumlah sumbu dalam rentang berat tertentu, akan menghasilkan jumlah pemakaian beban sumbu tunggal 18 kip yang mempunyai pengaruh ekuivalen pada kinerja dari struktur perkerasan. Analisis dari persamaan perencanaan dari AASHTO Road Test akan menghasilkan penentuan faktor-faktor tersebut.

Persamaan perencanaan untuk perkerasan lentur dapat ditulis sebagai berikut :

$$\log W_t = 5,93 + 9,36 \log (SN+1) - 4,79 \log (L_1 + L_2) + 4,331 \log L_2 + Gt / (2-1) \dots\dots 5.5.1$$

dimana :

$W_t$  = jumlah pengulangan beban pada akhir waktu  $t$

SN = structural number

L1 = beban pada satu sumbu tunggal atau pada sumbu ganda (kips)

L2 = kode sumbu (1 untuk sumbu tunggal dan 2 untuk sumbu ganda)

$$Gt = \log = \left[ \frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5} \right] \text{ fungsi logaritma dari ratio .....5.5.2}$$

kehilangan pelayanan pada waktu t terhadap pelayanan pada saat t = 1,5

$\beta$  = fungsi variabel perancangan dan beban yang mempengaruhi bentuk grafik pelayanan p vs w

$$= 0,04 + \left[ \frac{0,081 (L_1 + L_2) 3,23}{(SN + 1) 5,19 L_2 3,23} \right]$$

Jika L1 = 18 kips dan L2 = 1 untuk sumbu tunggal, pers (5.5.1) menjadi :

$$\text{Log } Wt = 5,93 + 9,36 \log (SN+1) - 4,79 \log (18+1) + Gt / \beta \text{ .....5.5.3}$$

Untuk beban sumbu lain sebesar Lx, persamaan (5.5.1) menjadi :

$$\text{Log } Wtx = 5,93 + 9,36 \log (SN+1) - 4,79 \log (Lx+L_2) + 4,33 \log L_2 + Gt / \beta x \text{ .....5.5.4.}$$

Jika persamaan (5.5.3) dikurangi persamaan (5.5.4) menjadi :

$$\text{Log } Wtx / Wt18 = 4,79 \log (18+1) - 4,79 \log (Lx+L_2) + 4,33 \log L_2 + Gt / \beta x - Gt / \beta 18 \text{ .....5.5.5.}$$

Untuk sumbu tunggal, L2 = 1, persamaan 5.5.5 menjadi :

$$\text{Log } Wtx / Wt18 = 4,79 \log (18+1) - 4,79 \log (Lx+1) + Gt / \beta x - Gt / \beta 18 \text{ .....5.5.6.}$$

Dan untuk sumbu ganda, L2=2, persamaan 5.5.5 menjadi :

$$\text{Log } Wtx / Wt18 = 4,79 \log (18+1) - 4,79 \log (Lx+2) + 4,33 \log 2 + Gt / \beta x - Gt / \beta 18 \text{ .....5.5.7.}$$

Ratio Wtx/Wt18 menghasilkan hubungan antara setiap beban sumbu x, tunggal atau ganda, dengan beban sumbu tunggal 18 kips. Ratio ini didefinisikan sebagai faktor ekuivalensi dan dievaluasi dengan menyelesaikan persamaan (5.5.6) dan (5.5.7).

Karena ( merupakan fungsi SN dan juga Lx, faktor ekuivalensi juga tergantung pada SN. Faktor ekuivalensi untuk berbagai beban sumbu (tunggal atau ganda) dapat dilihat pada Tabel 5.3 hingga Tabel 5.5 untuk structural number dari 1 hingga 6 dan Pt 2 dan Pt = 2,5.

Prediksi lalu lintas untuk tujuan perancangan berkaitan erat dengan lalu lintas masa lalu yang dimodifikasi dengan faktor-faktor pertumbuhan atau faktor lain yang diharapkan berubah. Informasi lalu lintas masa lalu dalam bentuk data Loadometer sering dipergunakan dalam perancangan. Data Loadometer berbentuk tabel dari jumlah sumbu yang diamati dari deretan kelompok beban sumbu, yang biasanya mempunyai interval 2000 lb. Tabel ini disajikan dalam bentuk yang memudahkan untuk konversi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_1 &= N_1 \cdot e_1 = N_t \cdot P_1 \cdot e_1 \\ W_2 &= N_2 \cdot e_2 = N_t \cdot P_2 \cdot e_2 \quad \dots\dots\dots 5.5.8 \\ W_i &= N_i \cdot e_i = N_t \cdot P_i \cdot e_i \\ W_n &= N_n \cdot e_n = N_t \cdot P_n \cdot e_n \end{aligned}$$

dimana :

- Wi = beban ekuivalen 18 kips sumbu tunggal untuk kelompok beban i
- Ni = jumlah sumbu yang diharapkan untuk kelompok beban i
- Nt = jumlah sumbu total
- Pi = persentase sumbu dalam kelompok beban i
- Ei = faktor ekuivalen beban untuk kelompok beban I

Beban sumbu ekuivalen untuk semua kelompok sumbu kemudian dijumlahkan sehingga menghasilkan satu nilai yang mewakili lalu lintas campur.

$$\begin{aligned} W_{t_{18}} &= W_1 + W_2 + W_3 + \dots\dots + W_i + \dots\dots + W_n \\ \text{Atau } W_{t_{18}} &= E \cdot W_i \quad \dots\dots\dots 5.5.9 \\ \text{Atau } W_{t_{18}} &= N_t \cdot E \cdot P_i \cdot e_i \end{aligned}$$

Persamaan (5.5.6) dan (5.5.7) dipakai untuk menghitung faktor ekuivalensi beban, ei. Faktor ini adalah fungsi SN. Karena itu untuk mendapatkan Wt18, perlu mengasumsikan nilai SN, lalu memakai faktor ekuivalensi beban yang sesuai untuk nilai SN tersebut, kemudian menyelesaikan dengan persamaan (5.5.9). Penggunaan nilai SN = 3 untuk penentuan faktor ekuivalen beban sumbu tunggal 18 kips (80 kN) biasanya menghasilkan ketelitian yang cukup untuk perancangan, walaupun SN yang terakhir diperoleh cukup berbeda. Asumsi ini biasanya menghasilkan sumbu tunggal ekuivalen 18 kips (80 kN) yang lebih besar, tetapi kesalahan nilai SN ini tidak berarti. Jika ingin lebih teliti, dan nilai SN yang dihitung berbeda dari nilai asumsi, maka kembali SN perlu diasumsikan lagi, nilai Wt18 dihitung kembali dan SN ditentukan untuk nilai Wt18 yang baru. Prosedur ini diulangi hingga nilai SN asumsi mendekati nilai SN hitungan.

Jumlah beban ekivalen yang dihitung dengan persamaan (5.5.9) menunjukkan jumlah beban untuk semua lajur dan kedua arah. Untuk perancangan, jumlah beban ini harus didistribusikan menurut arah dan lajur rencana. Faktor distribusi arah biasanya 50 % atau ditetapkan secara lain. Faktor distribusi lajur ditentukan seperti Tabel 5.2.

**Tabel 5.2. : Faktor Distribusi Lajur**

Jumlah Lajur untuk Kedua Arah	Persen $W_{t_{18}}$ pada Lajur Rencana
2	100
4	80-100
6	60-80

Sumber : AASHTO 1981, Tabel C 2-5 hal 67

Contoh penentuan EAL dari volume lalulintas

Diasumsikan data volume lalulintas sebagai berikut :

ADT awal = 4000 kendaraan/hari

Umur rencana = 20 tahun

ADT proyeksi 20 tahun = 6000 kendaraan/hari

Persen truck = 20% (didasarkan atas volume lalulintas 24 jam)

ADT rata-rata untuk umur rencana 20, kedua arah :

$$(4000 + 6000)/2 = 5000 \text{ kendaraan/hari}$$

ADT rata-rata 20 tahun, satu arah =  $5000/2 = 2500$  kendaraan. Jumlah truck rata-rata perhari, satu arah untuk umur rencana 20 tahun =  $20\% * 2500 = 500$  truck. Jumlah truck, satu arah 20 tahun  $500 \text{ truck} * 20 \text{ tahun} 365 \text{ hari/tahun} = 3.650.000 \text{ truck}$ .

Diasumsikan seluruh truck ini berada di lajur rencana, dan diasumsikan juga bahwa rate 18 kips (80 kN) per 1000 truck yang diperoleh dari W-4 Loadometer jalan lain adalah 605,23. Maka :

Jumlah rata-rata EAL per hari pada lajur rencana =  $(500 * 605,23)/1000 = 302,615$ .  
 Jumlah rata-rata EAL pada lajur rencana untuk 20 tahun =  $3.650.000 * (605,23/1000) = 2.209.000$ .

Axle Load Group, lbs	Representative Axle Load, lbs	Equiv. Factor <sup>1</sup>	No. of Axles <sup>2</sup>	Equiv. 18 kip Single Axles
<b>Single Axles</b>				
Under 3.000	2.000	0.0003	512	0.2
3.000-6.999	5.000	0.012	536	6.4
7.000-7.999	7.500	0.0425	239	10.2
8.000-11.999	10.000	0.12	1,453	147.4
12.000-15.999	14.000	0.40	279	111.6
16.000-18.000	17.000	0.825	106	87.5
18.001-20.000	19.000	1.245	43	53.5
20.001-21.999	21.000	1.83	4	7.3
22.000-23.999	23.000	2.63	3	7.9
24.000 and over			0	7.9
				Sub total 459.0
<b>Tandem Axles</b>				
Under 6.000	4.000	0.01	9	-
6.000-11.999	9.000	0.008	337	2.7
12.000-17.999	15.000	0.005	396	21.8
18.000-23.999	21.000	0.195	457	89.1
24.000-29.999	27.000	0.485	815	395.5
30.000-32.000	31.000	0.785	342	271.9
32.001-33.999	33.000	1.00	243	243.0
34.000-35.999	35.000	1.245	173	215.4
36.000-37.999	37.000	1.535	71	109.0
38.000-39.999	39.000	1.875	9	16.9
40.000-41.999	41.000	2.275	0	-
42.000-43.999	43.000	2.74	1	2.7
44.000-and over	-	-	0	-
				Subtotal 1,367.8
				Total 1,826.8
Total, all trucks = 3,146				

<sup>1</sup> For pt = 2.5, and SN = 3.0

<sup>2</sup> Loadometer station data for 3,146 trucks

**Tabel 5.3 : Penentuan EAL dengan data Loadometer**

### Contoh penentuan EAL dari data Loadometer

Jika informasi Loadometer bisa diperoleh, maka distribusi berat sumbu dapat langsung diperoleh. Contoh pengembangan dari data-data ini ditunjukkan dalam bentuk Tabel 5.6. Jika data dalam tabel diperoleh dari 3146 truck maka rate 18 kips (80kN) per truck dapat dihitung sebagai berikut :

$(1826,8 \text{ 18 kip beban sb})/3146 \text{ truck} = 0,58067 \text{ 18 kips beban sb/truck}$ . Dengan data yang sama pada soal di muka yaitu :

ADT awal= 4000 kendaraan/hari

ADT 20 tahun umur rencana= 6000 kendaraan/hari

Persen truck= 20 %

Maka jumlah truck pada lajur rencana = 500 truck/hari/arah

Jumlah truck per 20 tahun =  $20 \times 365 \times 500 = 3.650.00$

Jadi EAL 18 kips per hari =  $500 \times 0,58 = 290$

EAL 18 kips per 20 tahun =  $3.650.000 \times 0,58 = 2.117.000$

### c. Perhitungan Tebal Perkerasan

Prosedur 1 :

Perhitungan dimulai dengan penentuan nilai Pt (terminal serviceability index). Pemilihan nilai Pt didasarkan pada pelayanan terendah yang masih dapat diterima sebelum pelapisan ulang. Untuk jalan utama Pt = 2,5 dan jalan sekunder Pt = 2,0. Setelah nilai Pt (terminal serviceability index) ditetapkan maka pilihlah nomogram yang sesuai dan selanjutnya perhitungan tebal perkerasan akan mengikuti prosedur penggunaan nomogram sebagai berikut :

1. Tetapkan daya dukung tanah dari tanah dasar
2. Asumsikan nilai SN
3. Tentukan EAL total atau harian untuk lajur rencana sesuai.
4. Tentukan faktor regional yang sesuai
5. Pakai nomogram untuk menentukan SN
6. Bandingkan SN yang diperoleh dengan SN asumsi, jika belum sama, ulangi prosedur 2 hingga 5 sampai SN yang diperoleh sama dengan SN asumsi.
7. Pilih material surface, base, dan sub base yang akan dipakai sehingga koefisien kekuatan relatif masing-masing lapisan dapat diperoleh dari tabel.
8. Dengan mempertimbangkan masalah pelaksanaan dan operasi pemeliharaan maka perancangan perlu memperhatikan tebal minimum masing-masing lapisan sebagai berikut :
  - Lapisan permukaan: 50 mm
  - Lapisan pondasi: 100 mm
  - Lapisan pondasi: 100 mm

9. Hitung tebal masing-masing lapisan dengan rumus :

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

### Contoh perhitungan

- Diketahui jumlah ekivalen beban dumbu tunggal 18 kips (80kN) yang diharapkan terjadi pada lajur rencana selama 20 tahun adalah 8.500.00 atau 1165 per hari.
- Soil support (daya dukung tanah) =  $S = 3,0$
- Faktor regional = 1,5
- Dipilih  $P_t = 2,5$   
Dari nomogram gambar diperoleh  $SN = 5,8$
- Material yang digunakan dan koefisien kekuatan relatifnya :  
Beton aspal 0,44  
Agregat base 0,14 atau beton aspal base 0,40  
Agregat sub base 0,11
- terdapat 2 alternatif :

### Alternatif 1

	Tebal (inch)		Koef. Kek. relatif	SN
Beton aspal surface	6	*	0,44	= 2,64
Agregat base	12	*	0,14	= 1,68
Agregat su base	13,5	*	0,11	= 1,48
<hr/>				
Total 31,5				Total 5,80

### Alternatif 2

	Tebal (inchi)		Koef. kek. relatif	SN
Beton aspal surface	4	*	0,44	= 1,76
Agregat base	8	*	0,40	= 3,20
Agregat sub base	8	*	0,11	= 0,88
<hr/>				
Total 20				Total 5,84

### Prosedur 2

Dalam prosedur ini nilai daya dukung tanah (soil support) representatif ditentukan untuk sub base dan base. Dengan kondisi yang sama soil support untuk tanah dasar dipakai untuk menentukan SN total. Untuk mendapatkan SN minimum bagi kombinasi base dan subbase, dipakai nomogram dengan nilai S subbase.

Konsep ini digambarkan secara grafis pada Gambar 5.4 dengan keterangan sebagai berikut :

$A_1, a_2, a_3,$  = koefisien kekuatan relatif untuk material surface, base, dan sub base.

$D_1, D_2, D_3,$  = tebal surface, base, dan sub base

$SN_1, SN_2, SN_3,$  = structural number untuk surface, surface and base, dan total perkerasan.

dimana :

1.  $a, D,$  dan  $SN$  adalah nilai yang diperlukan minimum.
2. Tanda \* pada  $D$  dan  $SN$  menunjukkan bahwa nilai itu adalah nilai aktual yang dipakai, yang harus sama atau lebih besar dari nilai yang diperlukan.

$$\frac{D_1^*}{a_1} \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

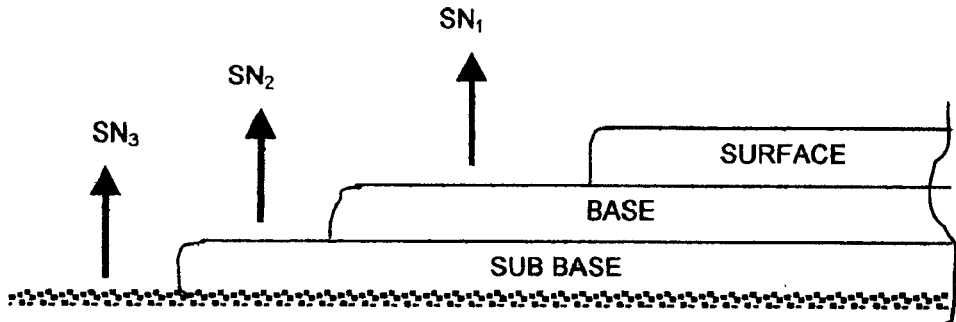
$$SN_1^* \geq a_1 \cdot D_2^* \geq SN_2^* - SN_1^*$$

$$D_1^* \geq \frac{SN_2^* - SN_1^*}{a_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2^*$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3^* - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3}$$





**Gambar 5.4** : Prosedur alternatif untuk menentukan tebal perkerasan

Sumber : AASHTO (1981, Gambar C. 5-5, hal 99)

### Contoh perhitungan

Ditentukan :

Serviceability index (Pt) : 2,5

Faktor regional (R) : 1,5

Soil support (S) : – granular base : 9,5

– granular sub base : 6,5

– tanah dasar : 3,0

Total EAL 20 tahun : 8.500.000

EAL per hari : 1,165

Koefisien kekuatan relatif :

– beton aspal surface (a1) : 0,44

– agregat base (a2) : 0,14

– agregat sub base (a3) : 0,11

Dengan menggunakan Gambar 5.4. diperoleh :

SN1 = 2,55

SN2 = 3,88

SN3 = 5,80.

Tebal minimum yang dibutuhkan untuk tiap lapis ditentukan dengan membagi nilai SN yang berkaitan dengan koefisien kekuatan relatif masing-masing material. Jadi tebal aspal surface minimum yang dibutuhkan =  $SN1/a2 = 2,55/0,44 = 5,8" = 147 \text{ mm}$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal agregat minimum yang dibutuhkan} &= SN2 - SN1 / a2 \\
 &= (3,88 - 2,55) / 0,14 \\
 &= 8,9" = 226 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tebal agregat sub base minimum yang dibutuhkan :

$$\frac{SN_3 - (SN_1 * SN_2^*)}{a_3} = \frac{5,8 - 3,80}{0,11} = 18,2" = 462 \text{ mm.}$$

Jadi tebal masing-masing lapisan adalah sebagai berikut :

Beton aspal surface : 5,8 inchi (147 mm) dibulatkan 6 inch.

Agregat base : 8,9 inchi (226 mm) dibulatkan 9 inch.

Agregat sub base : 18,2 inchi (462 mm) dibulatkan 17,5 inch.

### 5.5.2. Perancangan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Analisa Komponen, Bina Marga (1987)

Penentuan tebal perkerasan dengan cara ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan material berbutir (granular material, batu pecah) dan tidak berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan batu-batu besar (cara Telford atau Parklaag).

#### a. Istilah yang dipakai

- Jalur rencana adalah salah satu jalur lalu lintas dari suatu sistem jalan raya, yang menampung lalu lintas tersebut. Umumnya jalur rencana adalah salah satu jalur dari jalan raya dua jalur tepi luar dari jalan raya berjalur banyak.
- Umur Rencana (UR) adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru.
- Indeks Permukaan (IP) adalah suatu angka yang dipergunakan untuk menyatakan kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan jalan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.
- Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) adalah jumlah rata-rata lalu lintas kendaraan bermotor beroda empat atau lebih yang dicatat selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan.
- Angka Ekuivalen (E) dari suatu beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lbs).
- Lintas Ekuivalen Permukaan (LEP) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lbs) pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.
- Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lbs) pada jalur rencana pada akhir umur rencana.

- Lintas Ekuivalen Tengah (LET) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lbs) pada jalur rencana pada pertengahan umur rencana.
- Lintas Ekuivalen Rencana (LER) adalah suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb) pada jalur rencana.
- Tanah Dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan atau merupakan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.
- Lapis pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila menggunakan lapis pondasi bawah).
- Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas.
- Daya dukung Tanah Dasar (DTD) adalah suatu skala yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan kekuatan tanah dasar.
- Faktor Regional (FR) adalah faktor setempat, menyangkut keadaan, lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan.
- Indeks tebal Perkerasan (ITP) adalah suatu angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan.

## b. Prinsip Dasar Lalulintas

Dalam hal ini sama dengan pada cara AASHTO, karena metode ini adalah bersumber dari metode AASHTO '72 yang sekarang telah disempurnakan menjadi AASHTO '81 dan telah dimodifikasi sesuai dengan kondisi jalan di Indonesia.

## c. Perhitungan Ekuivalen Axle Load (EAL)

Perhitungan EAL masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus dibawah ini :

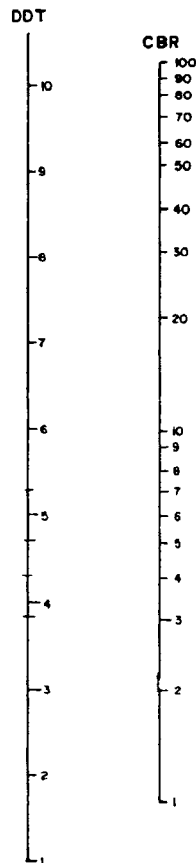
$$\begin{array}{l} \text{Angka ekuivalen} \\ \text{sumbu tunggal (E/EAL)} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg.} \\ \left( \frac{\quad}{8160} \right)^4 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Angka ekuivalen} \\ \text{sumbu ganda (E/EAL)} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{beban satu sumbu ganda dalam Kg.} \\ \left( \frac{\quad}{8160} \right)^4 \end{array}$$

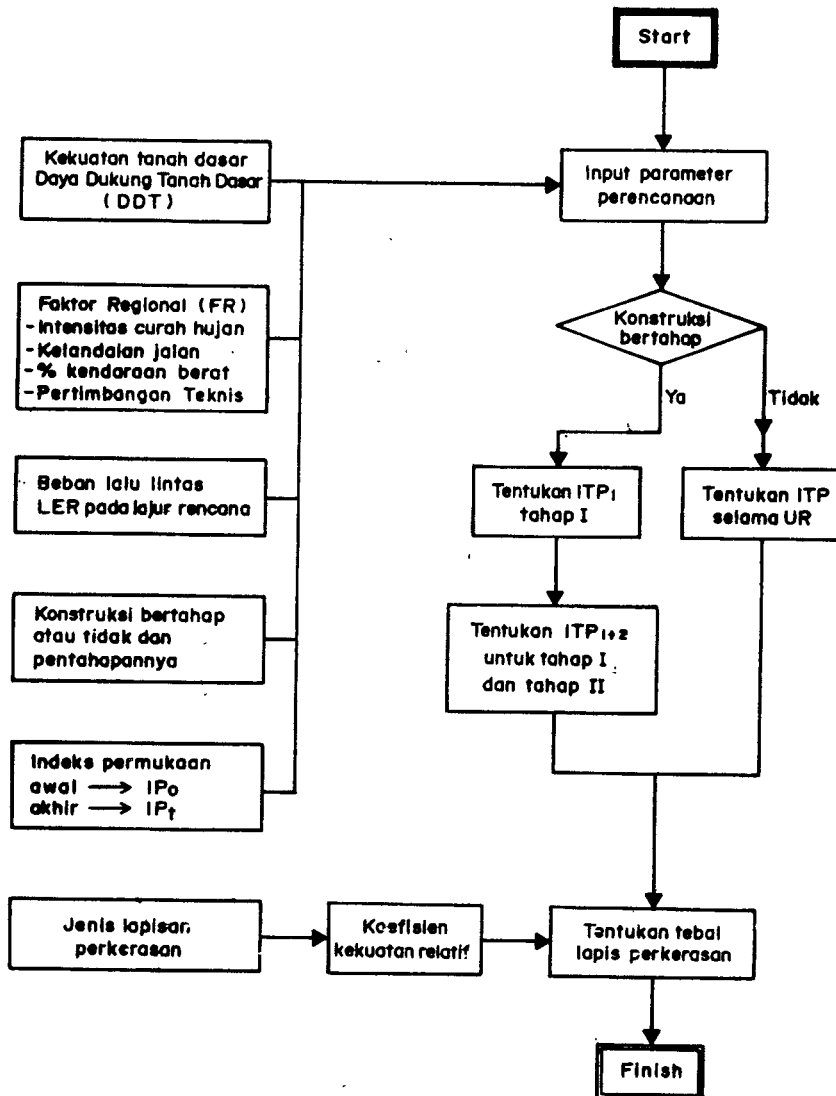
#### d. Perhitungan Tebal Perkerasan

Langkah-langkah perancangan tebal lapisan perkerasan :

1. Tentukan nilai daya dukung tanah dasar, dengan menggunakan pemeriksaan CBR.
2. Dengan memperhatikan nilai CBR yang diperoleh, keadaan lingkungan, jenis dan kondisi tanah dasar di sepanjang jalan, tentukanlah CBR segmen.
3. Tentukan nilai Daya dukung Tanah (DDT) dari setiap nilai CBR segmen yang diperoleh dengan mempergunakan Gambar 5.5. Grafik CBR mempergunakan skala logaritma, sedangkan grafik DDT mempergunakan skala linier.



**Gambar 5.5. :** Korelasi Antara Nilai CBR dan DDT



Gambar 5.6. : Bagan Alir Metode Bina Marga '87

4. Tentukan umur rencana dari jalan yang hendak direncanakan. Umumnya jalan baru mempergunakan umur rencana 20 tahun, dapat dengan konstruksi bertahap (stage construction) atau tidak. Jika dilakukan konstruksi bertahap, tentukan tahapan pelaksanaannya.
5. Tentukan faktor pertumbuhan lalu lintas ( $i$  %) selama masa pelaksanaan dan selama umur rencana.

6. Tentukan faktor regional (FR). Faktor regional berguna untuk memperhatikan kondisi jalan yang berbeda antara jalan yang satu dengan jalan lain. Bina Marga memberikan angka yang bervariasi antara 0,5 dan 4 seperti yang terlihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 : Faktor Regional**

	Kelalaian I (<6%) Kelandaian II (6-10%) Kelandaian III (> 10%)					
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
<b>Iklim I</b> <900 mm/th	0,5	10,5 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
<b>Iklim II</b> ≥ 900 mm/th	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Hal-hal yang dapat dimasukkan dalam nilai FR ini disamping yang terdapat pada Tabel 5.4 adalah :

- kondisi persimpangan yang ramai
- keadaan medan
- kondisi drainase yang ada
- pertimbangan teknis dari perencana seperti ketinggian muka air tanah, perbedaan kecepatan akibat adanya hambatan-hambatan tertentu, dan sebagainya.

7. Tentukan Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

$$LEP = \sum_{i=1}^{i=n} A_i \times E_i \times C_i \times (1+a)^n$$

$$LEA = LEP (1 + r)^n$$

$$LET = \frac{1}{2} (LEP + LEA)$$

$$LER = LET \times FP$$

Keterangan :

LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan.

$A_i$  = Jumlah kendaraan untuk satu jenis kendaraan, dinyatakan beban sumbu untuk satu jenis kendaraan.

$C_i$  = Koefisien distribusi kendaraan pada lajur rencana dalam kendaraan/hari/2 arah untuk jalan tanpa median dan kendaraan/hari/1 arah untuk jalan dengan median.

- $E_i$  = Angka ekivalen.  
 $A$  = Faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan dari survey lalu lintas dilakukan sampai saat jalan tersebut dibuka.  
 $n'$  = Jumlah tahun dari saat diadakan pengamatan sampai jalan tersebut dibuka.  
 $LEA$  = Lintas Ekivalen Akhir.  
 $r$  = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.  
 $n$  = umur rencana jalan tersebut.  
 $LET$  = Lintas Ekivalen Tengah.  
 $FP$  = Faktor penyesuaian ( $FP$ ) =  $UR/10$   
 $UR$  = Umur rencana.

8. Tentukan indeks permukaan awal (IPO) dengan mempergunakan Tabel 5.5. yang ditentukan sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan dipergunakan.

**Tabel 5.5.** Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IPO)

Jenis lapis permukaan	$IP_o$	Roughness*(mm/km)
Latson	> 4	< 1000
	3,9-3,5	> 1000
Lasbutag	3,9-3,5	< 2000
	3,4-3,0	> 2000
HRA	3,9-3,5	< 2000
	3,4-3,0	> 2000
Burda	3,9-3,5	< 2000
Burtu	3,4-3,0	< 2000
Lapen	3,4-3,0	< 3000
	2,9-2,5	> 3000
Latasbum	2,9-2,5	
Buras	2,9-2,5	
Latasir	2,9-2,5	
Jalan Tanah	< 2,4	

- \* Alat pengukur Roughness yang dipakai adalah roughness NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 Station Wagon, dengan kecepatan kendaraan + 32 km/jam.

9. Tentukan Indeks Permukaan Akhir (IPT) dari perkerasan rencana. Lihat Tabel 5.6.

**Tabel 5.6.** Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IPT)

LER = Lintas Ekvivalen Rencana	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10-100	1,5	1,5-2,0	2,0	-
100-1000	1,5-2,0	2,0	2,0-2,5	-
> 1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

10. Tentukan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dengan mempergunakan nomogram pada Gambar (5.7) - (5.15). ITP dapat diperoleh dari nomogram dengan mempergunakan LER selama umur rencana. Pada konstruksi bertahap, ITP dapat ditentukan berdasarkan konsep umur sisa. Konstruksi tahap kedua dilaksanakan jika dianggap umur sisa tahap pertama tinggal 40 %. ITP 1 adalah ITP untuk tahap pertama diperoleh dari nomogram dengan menggunakan LER = 1,67 LER1 dan P1+2 adalah ITP untuk tahap pertama ditambah tahap kedua, diperoleh dari nomogram dengan menggunakan LER = 2,5 LER2. LER1 adalah selama tahap pertama dan LER2 adalah LER selama tahap kedua.
11. Tentukan jenis lapisan perkerasan yang akan digunakan. Pemilihan jenis lapisan perkerasan ditentukan dari :
- Material yang tersedia.
  - Dana awal yang tersedia.
  - Tenaga kerja dan peralatan yang tersedia.
  - Fungsi jalan.
12. Tentukan koefisien kekuatan relatif bahan (a) dari setiap jenis lapisan perkerasan yang dipilih. Besarnya koefisien kekuatan relatif dapat dilihat dalam Tabel (5.4).
13. Dengan mempergunakan rumus :
- $$ITP = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$
- Dapat diperoleh tebal dari masing-masing lapisan dimana :
- a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> adalah kekuatan relatif dari Tabel (5.4) untuk lapis permukaan (a<sub>1</sub>), lapis pondasi atas (a<sub>2</sub>) dan lapis pondasi bawah (a<sub>3</sub>).
  - D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> adalah tebal masing-masing lapisan dalam cm untuk lapis permukaan (D<sub>1</sub>), lapis pondasi atas (D<sub>2</sub>), dan lapis pondasi bawah (D<sub>3</sub>).



Perkiraan besarnya ketebalan masing-masing jenis lapis perkerasan ini tergantung dari nilai minimum yang telah diberikan oleh Bina Marga. Tebal minimum dari masing-masing jenis lapis perkerasan dapat dilihat pada Tabel (5.8).

14. Kontrol apakah tebal dari masing-masing lapis perkerasan telah memenuhi ITP yang bersangkutan (Gambar 5.7 s/d 5.15).

**Tabel 5.7. Koefisien Relatif**

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
$a_1$	$a_2$	$a_3$	MS (kg)	Kt (kg/cm <sup>2</sup> )	CBR (%)	
0,40			744			LASTON  Asbuton  Hot Rolled Asphalt Aspal Macadam LAPEN (mekanis) LAPEN (manual)
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			
0,26			340			
0,25						
0,20						
	0,28		590			LASTON ATAS  LAPEN (mekanis) LAPEN (manual) Stabilitas tanah dengan semen  Stabilitas tanah dengan kapur
	0,26		454			
	0,24		340			
	0,23					
	0,19					
	0,15					
	0,13					
	0,15					
	0,13					
	0,14				100	
	0,12				60	
	0,14				100	
	0,13				80	
	0,12				60	
		0,13		22	70	Sirtu/pitrun (kelas A) Sirtu/pitrun (kelas B) Sirtu/pitrun (kelas C) Tanah/lempung kepasiran
		0,12		18	50	
		0,11		22	30	
		0,10		18	20	

Catatan : Kutat ekan stabilisasi tanah dengan semen diperiksa pada hari ke-7. Kuat tekan stabilisasi tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke-21.

**Tabel 5.8.** Tebal Minimum Lapisan

## 1. Lapisan Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapisan pelindung, BURAS, BURTU/ BURDA
3,00-6,70		LAPEN/aspal macadam, HRA, asbuton, LASTON
6,71-7,49	7,5	LAPTEN/aspal macadam, HRA, asbuton, LASTON
7,50-9,99	7,5	LASTON
>> 10,00	10	Asbuton, LASTON LASTON

## 2. Lapisan pondasi

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00-7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
	10	LASTON ATAS
7,90-9,99	20*)	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam
	15	LASTON ATAS
10,00-12,24	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam, LAPEN, LASTON ATAS
>> 12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam, LAPEN, LASTON ATAS.

\*) Batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

### Contoh Soal :

#### LALULINTAS TINGGI

1. Rencanakan :

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalulintas 1981 seperti dibawah ini, dan umur rencana : a). 10 tahun ; b). 20 tahun. Jika dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun).

2. Data-data :

Kendaraan ringan 2 ton .....	1000 kendaraan
Bus 8 ton .....	300 kendaraan
Truck 2 as 13 ton .....	50 kendaraan
Truck 3 as 20 ton .....	30 kendaraan
Truck 5 as 30 ton .....	10 kendaraan

LHR 1981 = 1390 Kendaraan/hari/2 jam

Perkembangan lalulintas (i) = ..... Untuk 10 tahun =  
Untuk 20 tahun =

Bahan-bahan perkerasan :

Asbuton (MS 744)	$a_1 = 0,35$
Batu pecah (CBR 100)	$a_2 = 0,14$
Sirtu (CBR 50)	$a_3 = 0,12$

3. Penyelesaian :

LHR pada tahun 1985 (awal umur rencana)

Kendaraan ringan 2 ton .....	1215,5 kendaraan
Bus 8 ton .....	364,7 kendaraan
Truck 2 as 20 ton .....	60,8 kendaraan
Truck 3 as 20 ton .....	36,5 kendaraan
Truck 5 as 20 ton .....	12,2 kendaraan

LHR pada tahun ke-10 atau ke-20 (akhir umur rencana)

	10 tahun	20 tahun
Kendaraan ringan 2 ton	2624,2 kend.	3898,3 kendaraan
Bus 8 ton	787,4 kend.	1169,6 kendaraan
Truck 2 as 13 ton	131,3 kend.	195,0 kendaraan
Truck 3 as 20 ton	78,8 kend.	117,1 kendaraan
Truck 5 as 20 ton	26,3 kend.	39,1 kendaraan

Setelah dihitung angka ekivalen (E) masing-masing kendaraan sebagai berikut :

Kendaraan ringan 2 ton .....	$0,0002 = 0,0002 = 0,0001$
Bus 8 ton .....	$0,0183 + 0,1410 = 0,1593$

Truck 2 as 13 ton .....	$0,1440 + 0,9238 = 1,0048$
Truck 3 as 20 ton .....	$0,2923 + 0,7452 = 1,0375$
Truck 5 as 30 ton .....	$1,0375 + 2 (0,1410) = 1,3195$

Menghitung LEP :

Kendaraan ringan 2 ton .....	$0,50 \times 1215,5 \times 0,0004 = 0,243$
Bus 8 ton .....	$0,50 \times 364,7 \times 0,1593 = 29,370$
Truck 2 as 13 ton .....	$0,50 \times 60,8 \times 1,0648 = 32,370$
Truck 3 as 20 ton .....	$0,50 \times 36,5 \times 1,0375 = 18,934$
Truck 5 as 30 ton .....	$0,50 \times 12,2 \times 1,3195 = 8,048$

---

LEP = 88,643

Menghitung LEA :

**- 10 tahun :**

Kendaraan ringan 2 ton .....	$0,50 \times 2524,2 \times 0,0004 = 0,525$
Bus 8 ton .....	$0,50 \times 787,4 \times 0,1593 = 62,717$
Truck 2 as 13 ton .....	$0,50 \times 131,3 \times 1,0648 = 69,904$
Truck 3 as 20 ton .....	$0,50 \times 78,8 \times 1,0375 = 40,878$
Truck 5 as 30 ton .....	$0,50 \times 26,5 \times 1,3195 = 17,350$

---

LEA10 = 191,373

**- 20 tahun :**

Kendaraan ringan 2 ton .....	$0,50 \times 3898,3 \times 0,0004 = 0,780$
Bus 8 ton .....	$0,50 \times 1196,6 \times 0,1593 = 62,717$
Truck 2 as 13 ton .....	$0,50 \times 131,3 \times 1,0648 = 69,904$
Truck 3 as 20 ton .....	$0,50 \times 78,8 \times 1,0375 = 40,878$
Truck 5 as 30 ton .....	$0,50 \times 39,1 \times 1,3195 = 25,794$

---

LEA20 = 248,297

Menghitung LET :

LET10 = $1/2 (LEP + LEA 10)$ .....	$1/2 (88,643 + 191,373) = 140$
LET20 = $1/2 (LEP + LEA20)$ .....	$1/2 (88,643 + 248,297) = 186$

Menghitung LER :

LER10 = $LET10 \times UR/10$ .....	$140 \times 10/10 = 140$
LER20 = $LET20 \times UR/10$ .....	$186 \times 20/20 = 172$

Mencari ITP :

CBR tanah dasar = 3,4 % ; DDT = 4 ; IP = 2,0 ; FR = 1,0

LER10 = 140 ..... ITP10 = 7,7 (IPo = 3,9-3,5)

LER20 = 372 ..... ITP20 = 88 (IPo = 3,9-3,5)

Menetapkan tebal perkerasan :

– UR = 10 tahun

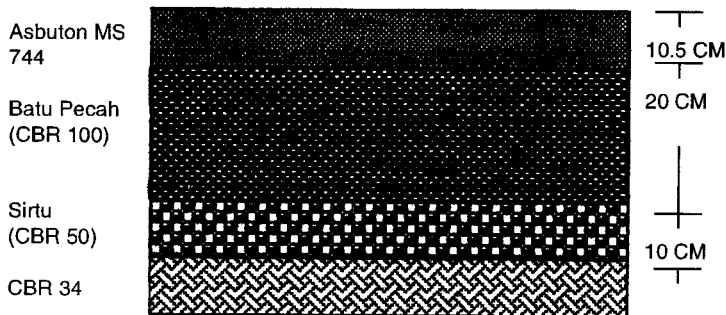
$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$

$7,7 = 0,35 D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 = 0,35 \cdot D_1 + 4$

$D_1 = 10,5 \text{ cm}$

– Susunan Perkerasan :

- Asbuton (MS 744) = 10,5 cm
- Batu pecah (CBR 100) = 20 cm
- Sirtu (CBR 50) = 10 cm



**Gambar 5.16.** Susunan Perkerasan

– UR = 20 tahun

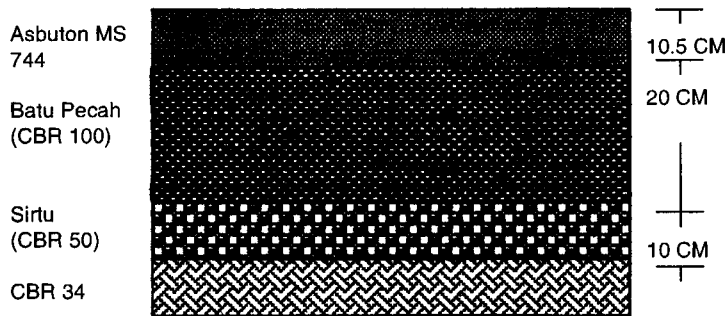
$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$

$8,8 = 0,35 \cdot D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 = 0,35 \cdot D_1 + 4$

$D_1 = 13,7 \text{ ( 14 cm)}$

– Susunan Perkerasan

- Asbuton (MS 744) = 14 cm
- Batu pecah (CBR 100) = 20 cm
- Sirtu (CBR 50) = 10 cm



**Gambar 5.17.** Susunan Perkerasan

### Latihan Soal :

Rencanakan perkerasan untuk jalan 4 jalur, data lalulintas tahun 1981 seperti dibawah ini, dan umur rencana : a). 5 tahun b). 10 tahun. Jika dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % pertahun)  $F_r = 1,0$  dan CBR tanah dasar = 3,4 % dengan data-data :

Kendaraan ringan 2 ton .....	90 kendaraan
Bus 8 ton .....	20 kendaraan
Truck 2 as 10 ton .....	5 kendaraan
Truck 3 as 20 ton .....	2 kendaraan

LHR 1981 = 117 kendaraan/hati/2 jur.

Perkembangan lalulintas (i) :    untuk 5 tahun = 8 %  
     untuk 10 tahun = 6 %

Bahan-bahan perkerasan :

- Lapen Mekanis
- Batu pecah (CBR 60 %)
- Tanah kepasiran (CBR 20 %).

## 5.5. PERANCANG TEBAL PERKERASAN KAKU

### 5.5.1. Cara AASHTO (1981)

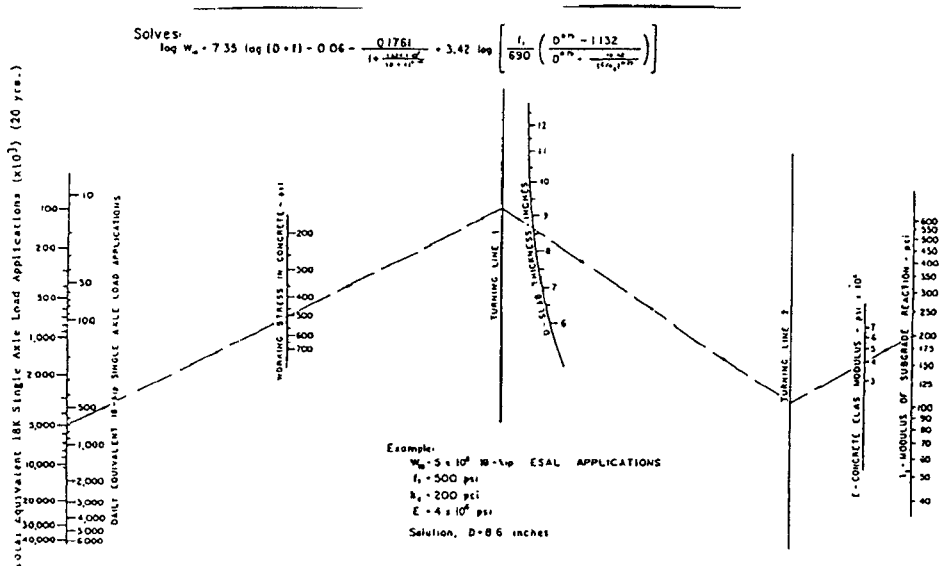
Prosedur perancangan tebal perkerasan kaku meliputi :

- penentuan tebal pelat beton semen (portland)
- perancangan siar dan penulangannya

### a. Penentuan Tebal Pelat Beton Semen

Perhitungan tebal pelat dilaksanakan dengan Gambar 5.18 dan prosedurnya ditetapkan sebagai berikut :

- Plot beban ekivalen sumbu tunggal 18 kip harian atau total pada skala paling kiri.
- Plot nilai tegangan yang bekerja (ft) pada beton semen pada skala kedua.
- Tarik garis lurus yang melewati kedua titik diatas hingga memotong “turning line 1”.



**Gambar 5.18 : Nomogram untuk perkerasan kaku**

Sumber : AASHTO (1981, gambar III-1, hal 29)

- Plot nilai k (modulus reaksi tanah dasar) dan nilai E (modulus elastisitas beton semen) pada skala masing-masing.
- Tarik garis lurus yang melewati kedua titik potong pada turning line 1 dan 2 hingga memotong garis tebal pelat.
- Titik potongannya adalah total pelat beton semen (dibulatkan ke nilai bulat yang terdekat selanjutnya dalam inch).

Contoh perhitungan

Diketahui :

$W_{18} = 5.000.000$  18 kip ESAL

$f_t = 500$  psi

$k = 200$  pci

$E_{\text{beton semen}} = 400.000$  psi

Hasil : Tebal pelat  $D = 8,6$  inchi  $\approx 9$  inchi.

## b. Perancangan Siar dan Penulangannya

Jika permukaan atas dan bawah menerima perbedaan temperatur, maka pelat akan melenting (wrap) dan jika pelat menerima perbedaan temperatur yang uniform (merata), pelat akan menyusut atau memuai. Permukaan pelat ini ditahan oleh berat sendiri dan oleh gesekan antara pelat dan tanah dasar atau subbase. Tahanan ini akan menyebabkan pelat mengalami retak kecuali diadakan perlengkapan untuk menahan retak seperti adanya siar atau tulangan.

### 1. Siar Muai (*Expansion Joints*)

Fungsi utama siar muai adalah mencegah berkembangnya tegangan-tegangan tekan yang merusak akibat perubahan volume pada pelat perkerasan dan mencegah pemindahan tegangan yang terlalu besar pada struktur sebelahnya. Umumnya siar muai tidak diperlukan untuk perkerasan kaku kecuali berdampingan dengan struktur. Pada lokasi ini siar muai digunakan jika dilindungi dengan alat pemindahan beban yang memadai dan pengisi siar yang baik. Siar selebar 3/4 " -1" biasa dipakai. Jika diperlukan siar muai yang lebih lebar dari 1" maka dibuat rangkaian siar selebar 1" dengan interval 20 feet. Karena siar tidak memiliki interlocking agregat maka perlu disediakan alat pemindah beban seperti dowel bar yang polos dan dilumasi pada sekurang-kurangnya satu sisi.

### 2. Siar Susut (*Contraction Joint*)

Tujuan siar susut adalah menyiapkan tempat bagi terjadinya retak. Jika siar ini dirancang dengan baik, retak-retak diluar siar akan minimum. Kedalaman siar tidak boleh kurang dari 1/4 tebal perkerasan. Pada siar ini harus disediakan alat pemindah beban. Jika agregat interlock tidak cukup memenuhi.

3. Siar memanjang yang digunakan untuk mencegah terbentuknya retak memanjang yang tidak teratur. Lajur yang berdampingan harus dijaga tetap terpisah dengan tie bar yang berjarak sesuai dengan Tabel 5.9.

**Tabel 5.9 : Rekomendasi Jarak Tie Bar**

Type and grade of street	Working Streets psi	Pavement thickness in.	1/2 in. Diameter Bars				1/2 in. Diameter Bars			
			Minimum overall length in**	Maximum Spacing in			Minimum overall length in**	Maximum Spacing in		
				Lane Width 10 ft.	Lane Width 11 ft.	Lane Width 12 ft.		Lane Width 10 ft.	Lane Width 11 ft.	Lane Width 12 ft.
Garde 40 billet or axle stell	30.00	6	25	48	48	48	30	48	48	48
		7		48	48	45		48	48	48
		8		48	44	40		48	48	48
		9		43	39	35		48	48	48
		10		38	35	32		48	48	48
		11		35	32	29		48	48	48
		12		32	29	26		48	48	48

\* it is recommended that spacing of bars should not exceed 48 inches

\*\* 350 psi assumed for bond stress (u).  
length includes 3 in allowance for centering.



#### 4. Alat pemindah beban

Alat pemindah beban yang biasa dipakai adalah dowel baja bulat polos yang memenuhi syarat AASHTO Designation M 31 - Grade 60 atau lebih. Syarat perancangan minimum ditunjukkan Tabel 5.10.

**Tabel 5.10 : Syarat Pemasangan Dowel**

<b>Tebal Perkerasan in</b>	<b>Dowel Diameter in</b>	<b>Panjang Dowel in</b>	<b>Jarak Dowel in</b>
6	$\frac{3}{4}$	18	12
7	1	18	12
8	1	18	12
9	1 1/4	18	12
10	1 1/4	18	12
11	1 1/4	18	12
12	1 1/4	18	12

Sumber : AASHTO (1981, hal 32)

#### 5. Tie Bar

Tie Bar dirancang untuk memegang plat sehingga teguh, dan dirancang untuk menahan gaya-gaya tarik maksimum. Tie Bar tidak dirancang untuk memindah beban.

#### 6. Kriteria penulangan

Tujuan penulangan pada perkerasan beton bertulang bukan untuk mencegah retak, tetapi lebih untuk menjaga unit struktur yang integral. Plat perkerasan cenderung memendek jika temperatur menurun atau kadar airnya menurun. Susut ini ditahan oleh tanah dasar melalui gesekan antar pelat dan tenaga dasar. Tahanan pergerakan harus diimbangi oleh tahanan dari baja yang melintang terhadap retak.

Tegangan maksimum akan terjadi retak ditengah-tengah panjang plat. Tulang dirancang untuk tegangan yang dikembangkan pada kondisi ini. Luas penampang tulangan atau (As) yang diperlukan per foot lebar plat dihitung dengan :  $As = FLw / 2 fs$ . Dimana :

As = luas penampang tulangan per foot lebar plat, sq.in

F = koefisien tahanan geser antara plat dan tanah dasar, dianjurkan nilai  $F=1,5$ .

L = jarak antara siar melintang atau antara tepi memanjang, ft

w = berat plat perkerasan, lb/sq.ft; Wbeton = 150/cu. ft

Fs = tegangan ijin baja tulangan, psi.

### Contoh perhitungan

Diketahui :

Panjang pelat 40 feet (12,19 m)

Lebar pelat 24 feet (7,31m)

Tegangan ijin baja tulangan =  $f_s = 45.000$  psi (310 MPa)

Tebal perkerasan = 10 inchi (25 mm)

$$A_s = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 10 \cdot 1}{2 \cdot 45.000} = 0,09 \text{ inchi}^2 (58 \text{ mm}^2) - \text{memanjang}$$

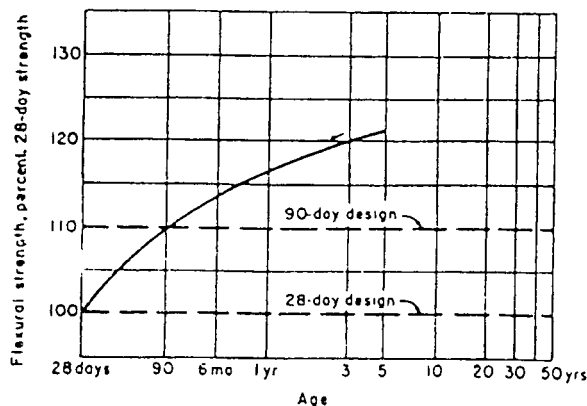
$$A_s = \frac{1,5 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 10 \cdot 1}{2 \cdot 45.000} = 0,05 \text{ inchi}^2 (32 \text{ mm}^2) - \text{melintang}$$

#### 5.5.2. Perancangan Tebal Perkerasan Kaku Cara PCA (Portland Cement Assosiation)

Tebal perkerasan didapatkan berdasarkan 4 faktor yaitu :

a. Modulus of Repture (MR) daripada beton.

Modulus of reptime (MR) biasanya diambil pada umur 7,14.28 dan 90 hari. Untuk perencanaan jalan dengan perkerasan kaku dipakai pada umur 28 hari, sedangkan untuk perencanaan landasan terbang dipakai pada umur 90 hari. Hubungan Modulus of Reptime, umur dan perencanaan dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19. : Hubungan antara MR , Umur Rencana

**b. Nilai k sub grade atau kombinasi sub grade - sub base**

Nilai k dari sub grade diperoleh dari percobaan dengan metode Plate-Loading Test. Nilai k juga dapat diambil melalui konversi nilai CBR dan R value dengan menggunakan Gambar 5.20 Nilai k kombinasi antara sub grade dan sub base dapat dicari melalui Tabel 5.4 dan Tabel 5.12.

**Tabel 5.11** Effect of Untested Sub Base on k Value

Sub grade k value, pci	Sub base k value, pci			
	4 in	6 in	9 in	12 in
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

**Tabel 5.12** Design k value for Cement Treated Sub Bases

Sub grade k value, pci	Sub base k value, pci			
	4 in	6 in	9 in	12 in
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	—

**c. Umur Rencana**

Umur rencana untuk perkerasan kaku dalam metode ini biasanya ditetapkan 20 tahun namun bisa kurang atau lebih.

**d. Lalulintas**

Jumlah dan berat dari beban sumbu selama umur rencana diharapkan dapat ditopang oleh rencana perencanaan tebal perkerasan beton. Hal tersebut dibagi dari perhitungan :

- ADT (lalulintas harian rata-rata dalam 2 arah, semua kendaraan)
- ADTT (lalulintas harian rata-rata truck dalam 2 arah)
- Beban truck dari pada truck.

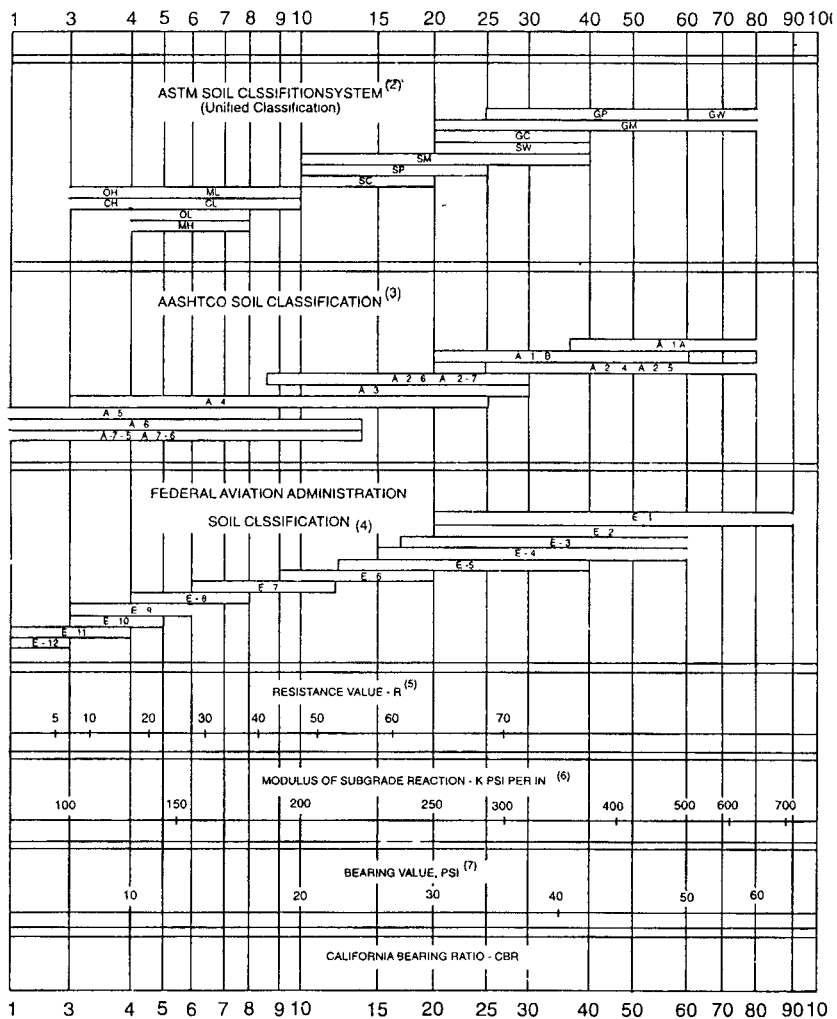
## Proyeksi

Salah satu metode untuk mendapatkan data volume (desain ADT) yang dibutuhkan yaitu menggunakan pertumbuhan lalu lintas tahunan rata-rata dan faktor proyeksi lalu lintas. Tabel 5.13 menunjukkan hubungan antara pertumbuhan tahunan rata-rata untuk 20 tahun dan 40 tahun umur rencana.

**Tabel 5.13** Yearly Rates of traffic Growth and Corresponding projection Factors\*

Yearly rate traffic growth %	Projection factor, 20 years	Projection factor, 40 years
1	1,1	1,2
1 1/2	1,2	1,3
2	1,2	1,5
2 1/2	1,3	1,6
3	1,3	1,8
3 1/2	1,4	2,0
4	1,5	2,2
4 1/2	1,6	2,4
5	1,6	2,7
5 1/2	1,7	2,9
6	1,8	3,2

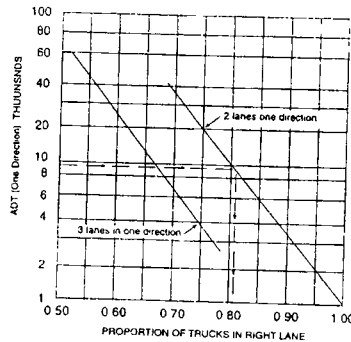
\* Faktor represent values at midedesign period that are widely used in curren practice. Anothre methode of computing these factors is base on the average annual value. Differences (both compound interest) between these two methode will rarely affect design.



**Gambar 5.20.** Appoximate interrelationships of soil classifications and bearing values.

## ADTT (Annual Daily Truck Traffic)

ADTT dapat dihasilkan dari prosentase ADT. Hanya tuck dengan 6 (enam) roda atau lebih yang dipakai perhitungan ADTT dan tidak termasuk truck pick-up dan kendaraan roda 4 lainnya. Tabel 6.14 menunjukkan prosentase dari Empat-roda Tunggal Unuit dengan Amerika Serikat khususnya dan juga dipakai untuk diluat Amerika Serikat. Untuk 4 (empat) jalur atau lebih, ADTT dapat diperoleh dengan menggunakan Gambar 5.21.



**Gambar 5.21.** Proportion of trucks in right lane of multilane divided highway.

## Distribusi Arah Truck

Dalam perencanaan diasumsikan volume lalu lintas truck yang lewat pad tiap arah adalah 50-50.

## Distribusi Beban Sumbu (Axle Load)

Penggunaan dan beban sumbu diilustrasikan pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.14 :** Percentages of Four-Tire Single Units and Trucks (ADTT) on Various Highway System

Highway System	Rural average daily traffic			Urban average daily traffic		
	2-axle, 4-tire single units	Trucks (DTT)	Total of both	2 axle, 4-tire single units	Trucks (DTT)	Total of both
Interstate	14	21	35	8	16	24
Other federalic primary	16	13	29	17	9	26
Federal-aid secondary	10	15	25	14	8	22

**Tabel 5.15** Axle-load Data

(1) Axle-load, kips	(2) Axles per 1000 trucks	(3) Axles per 1000 trucks (adjusted)	(4) Axles in design period
<b>Single axles</b>			
28-30	0,28	0,58	6.310
26-28	0,65	1,35	14.690
24-26	1,33	2,77	30.140
22-24	2,84	5,92	64.410
20-22	4,72	9,83	106.900
18-20	10,40	21,67	235.800
16-18	13,56	28,24	307.200
14-16	18,64	38,83	422.500
12-14	25,89	53,94	586.900
10-12	81,05	168,85	1.837.000

(1) Axle-load, kips	(2) Axles per 1000 trucks	(3) Axles per 1000 trucks (adjusted)	(4) Axles in design period
<b>Tandem Axles</b>			
48-52	0,94	1,96	21.320
44-48	1,89	3,94	42.870
40-44	5,51	11,48	124.900
36-40	16,45	34,37	372.900
32-36	39,08	81,42	885.800
28-32	41,06	85,54	930.700
24-28	73,07	152,23	1.656.000
20-	43,45	90,52	984.900
16-20	54,15	112,81	1.227.000
12-16	59,85	124,69	1.356.000

### **Load Safety Factor (LSF)**

Didalam prosedur perencanaan, sumbu beban dikalikan LSF sebagai “Multiplied dari beban sumbu” yang mana dipakai untuk perhitungan. LSF yang direkomendasikan yaitu :

- Untuk jalan kota atau jalan dengan banyak jalur,  $LSF = 1,2$
- Untuk jalan raya dan jalan arteri,  $LSF = 1,1$
- Jalan perumahan,  $LSF = 1,0$

### **Prosedur Perancangan Tebal Perkerasan**

Data masukan yang diperlukan yaitu :

- Tipe sambungan dan bahu jalan
- Modulus of Repture (MR) beton pada umur 28 hari
- k value dari sub-grade atau kombinasi dari sub-grade dan sub-base
- Faktor keamanan beban (LSF)
- Distribudi beban sumbu
- Jumlah ulangan dari beban sumbu selama umur rencana

### **Analisa Kelelahan (Fatigue Analysis)**

Analisa kelelahan biasanya dipakai untuk mengontrol perencanaan perkerasan jalan kaku pada lalulintas rendah. Hasil-hasil dari analisa kelelahan didapat dari bagian alir dan gambar yang digunakan, baik untuk perkerasan dengan siar dowel atau tanpa dowel, dan juga dipakai untuk perkerasan beton bertulang (continously reinforced pavement).

- Tanpa bahu jalan beton, gunakan Table 5.16a dan gambar 5.22.
- Dengan bahu jalan beton, digunakan Tabel 5.16b dan Gambar 5.22.

Untuk kontrol kemampuan perkerasan diizinkan apabila total prosentase analisa kelelahan (Fatigue Percent) kurang dari 100 %.

### **Analisa Erosi (Erosion/Damage Analysis)**

- Perkerasan tanpa bahu jalan.
  - dengan siar dowel atau perkerasan beton bertulang (continously reinforced pavement), diperoleh dari Tabel 5.17a dan gambar 5.23a.
  - dengan siar agregat, diperoleh dari Tabel 5.17b dan Gambar 5.23a.
- Perkerasan dengan bahu jalan.
  - dengan siar dowel atau perkerasan beton bertulang (continously pavement), diperoleh dari Tabel 5.18a dan Gambar 5.23b.
  - dengan siar agregat, diperoleh dari Tabel 5.18 dan Gambar 5.23b.



**Tabel 5.16a.** Equivalent Stress - No Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)

Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

**Tabel 5.16b : Equivalent Stress-Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)**

Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	409/388	383/384
4.5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	355/322	333/316
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	311/274	294/267
5.5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	276/238	261/231
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	247/210	234/203
6.5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	223/188	212/180
7	302/270	266/230	248/210	236/198	220/184	203/170	192/162
7.5	275/250	243/211	226/193	215/182	201/168	185/155	176/148
8	252/232	222/196	207/179	197/168	185/155	170/142	162/135
8.5	132/216	205/182	191/166	182/156	170/144	157/131	150/125
9	215/202	190/171	177/155	169/146	158/134	146/122	139/116
9.5	200/190	175/160	164/146	157/137	147/126	136/114	129/108
10	186/179	164/151	153/137	146/129	137/118	127/107	121/101
10.5	147/170	154/143	144/130	137/121	128/111	119/101	113/95
11	164/161	144/135	135/123	129/115	120/105	112/95	106/90
11.5	154/153	136/128	127/117	121/109	113/100	105/90	100/85
12	145/146	128/122	120/111	114/104	107/95	99/86	95/81
12.5	137/139	121/117	113/108	108/99	101/91	94/82	90/77
13	130/133	115/112	107/101	102/95	96/86	89/78	85/73
13.5	124/127	109/107	102/97	97/91	91/83	85/74	81/70
14	118/122	104/103	97/93	93/87	87/79	81/71	77/67

## Calculation of Pavement Thickness

Project design IA, four-lane interstate, rural

Trial thickness 9,5 in

Dowelwd joint : yes \_\_\_\_ no \_\_\_\_

Sub-base - sub-grade k 130 pci

Concrete shoulder : yes \_\_\_\_ no \_\_\_\_

Modulus of Repture. MR 650 psi

Design period 20 years

Load safety factor, LSF 1,2

4 in untreated sub-base

Axle load, kips	Multiplied by LSF 1.2	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue percent	Allowable repetitions	Fatigue percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress 206.

9. Stress ratio factor 0,317.

10. Erosion factor 2,59.

### Single Axles

30	36,0	6.310	27.000	23,3	1.500.000	0,4
28	33,6	14.690	77.000	19,1	2.200.000	0,7
26	31,2	30.140	230.000	13,1	3.500.000	0,9
24	28,8	64.410	1.200.000	5,4	5.900.000	1,1
22	26,4	106.900	Unlimited	0	11.000.000	1,0
20	24,0	235.800	Unlimited	0	23.000.000	1,0
18	21,6	307.200	Unlimited	0	64.000.000	0,5
16	19,2	422.500			Unlimited	0
14	16,8	586.900			Unlimited	0
12	14,4	1.837.00			Unlimited	0

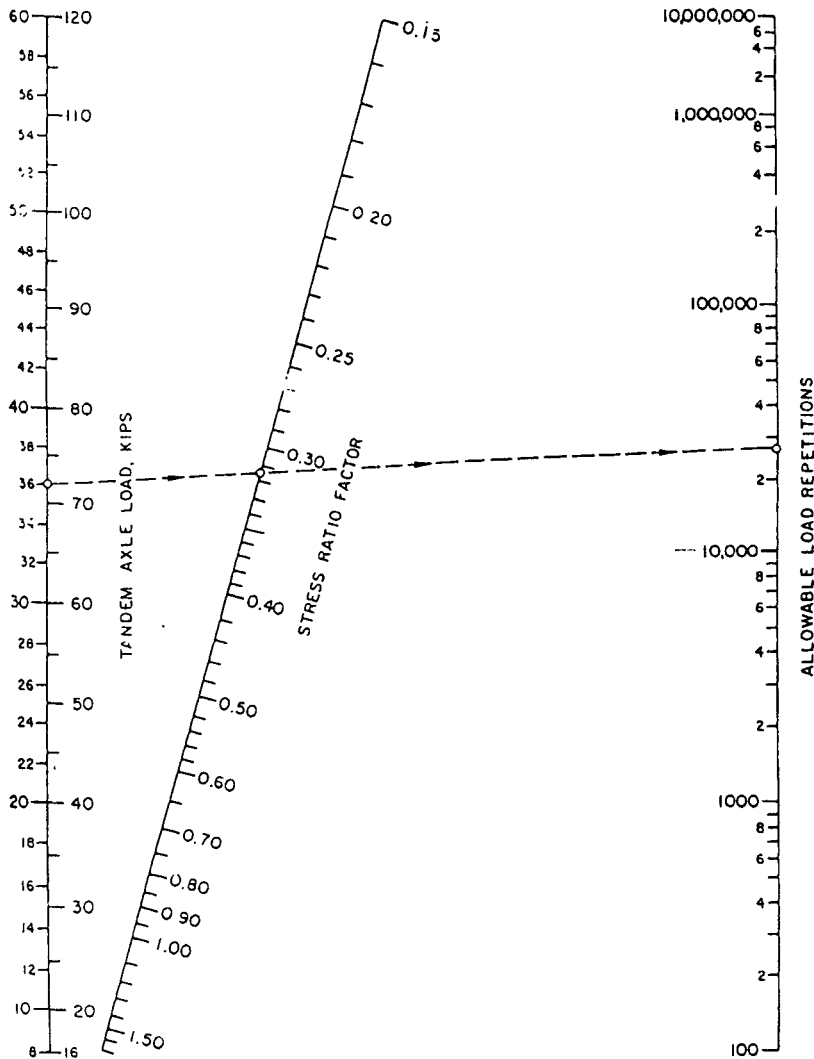
11. Equivalent 192

12. Stress ratio factor 0,295

13. Erosion factor 2,79

### Tendem Axles

52	62,4	21.320	1.100.000	1,9	920.000	2,3
48	57,6	42.870	Unlimited	0	1.500.000	2,9
44	52,8	124.900	Unlimited	0	2.500.000	5,0
40	48,0	372.900	Unlimited	0	4.600.000	8,1
36	43,2	885.800			9.500.000	9,3
32	38,4	930.700			24.000.000	3,9
28	33,6	1.656.000			92.000.000	1,8
24	28,8	984.900			Unlimited	0
20	24,0	1.227.000			Unlimited	0
16	19,2	1.356.000			Unlimited	0
				Total 62.8		Total 38,9



**Gambar 5.22.** Fatigue analysis - allowable load repetitions based on stress ratio factor (with and without concrete shoulder)

Langkah-langkah perhitungan :

1. Persiapkan kertas kerja (Calculation of Pavement Thickness)
2. Masukkan data masukan yang ada
3. Hitung kolom 2 dengan cara mengalikan kolom 1 dengan LSF
4. Isi kolom 3 sesuai data masukan
5. Masukkan data faktor "equivalent stress ke item 8 dan 11 yang tergantung Tabel 5.16a dan 5.16b

6. Bagilah item 8 dan 11 dengan Modulus of Repture (MR) beton, masukkan ke item 9 dan 12
7. Isilah kolom 4 “ Allowable repetitions (ulangan yang diijinkan) dari Gambar 5.22.
8. Tentukan kolom 5 yaitu kolom 3 dibagi dengan kolom 4 dikalikan 100 % kemudian total “ Fatigue percent” seluruhnya.
9. Masukkan “Erosion Factor” ke item 10 dan 13 yang didapat dari Tabel 5.17a, 5.17b, 5.18a, 5.18b atau Gambar 5.23a, Gambar 5.23b.
10. Masukkan ke kolom 6 “Allowable Repetitions” dari Gambar 5.23a dan Gambar 5.23b.
11. Hitung kolom 7 yaitu kolom 3 dibagi kolom 6 dan kalikan 100 %, kemudian total “Erosion/Damage Factor” seluruhnya.

Dari hal tersebut dapat diketahui nilai “Fatigue dan Erosion/Damage Percent” yang mana keduanya tidak boleh lebih 100 % jika perkerasan dianggap mampu menahan beban yang direncanakan.

### Contoh Soal :

Rencanakan tebal perkerasan jalan beton pada jalan dalam kota 4 jalur dengan data masukan sebagai berikut :

- Perkerasan bersiar dowel
- Untreated sub-base
- Shoulder bukan dari beton
- Umur rencana = 20 tahun
- Faktor proyeksi = 1,5
- ADTT = 19 % dari ADT

### Jawaban :

Perhitungan lalulintas

$$ADT = 12.900 \times 1,5 = 19.350 \text{ (9.675 untuk satu arah)}$$

$$ADTT = 19.350 \times 0,19 = 3.680 \text{ (1.840 untuk satu arah)}$$

- Untuk 9.675 satu arah, gambar 3 menunjukkan proporsi truck = 0,18
- Untuk 20 tahun umur rencana

$$\text{Total jumlah truck dalam satu arah} = 1.840 \times 0,18 \times 365 \times 20 = 10.880.000 \text{ truck.}$$

Data beban sumbu dari Tabel 5 digunakan untuk dimasukkan pada contoh gambar 4 yang mana dipakai beban sumbu maksimal tiap kelompok.

Misal rancangan perkerasan adalah sebagai berikut :

- Sub-grade - lempung (clay), k = 100 pci
- Sub-base - tabel 4 inchi, untreated k kombinasi sub-grade- sub-base = 130 pci (Tabel 1)
- LSF = 1,2 (jalan dalam kota/multilane)

- MR beton = 650 psi
- Tebal perkerasan coba-coba = 9,5 inchi

Dengan menggunakan lembar kerja yang telah disediakan didapatkan prosentasi Fatigue = 62,8 % < 100 % prosentasi damage/erosion = 38,9 % < 100 % (perkerasan mampu menahan beban).

- Tebal diturunkan menjadi 9 inchi. Didapatkan prosentase Fatigue = 245 % > 100 % (perkerasan tidak mampu menahan beban)

**Kesimpulan : Tebal perkerasan = 9,5 inchi untuk bahan tersebut.**

#### **Latihan soal :**

Dengan beban yang sama pada contoh, rencanakan tebal perkerasan jalan beton di bawah ini dengan ketentuan lain sebagai berikut :

- Tipe A :     –   Bersiar dowel, sub-grade k = 100 pci  
                   –   Sub-base dengan cement-treated, tebal = 4 inchi  
                   –   Shoulder tidak beton
- Tipe B :     –   Bersiar dowel, sub-grade k = 100 pci  
                   –   Sub-base dengan untreated, tebal = 4 inchi  
                   –   Shoulder beton
- Tipe C :     –   Bersiar agregat, Subgrade k = 100 pci  
                   –   Sub-base dengan cement-treated, tebal = 4 inchi  
                   –   Shoulder tidak beton
- Tipe D :     –   Bersiar agregat, sub-grade k = 100 pci  
                   –   Sub-base dengan cement-treated, tebal = 4 inchi  
                   –   Shoulder beton

### **5.6. PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN LENTUR, METODA D.U. SUDARSONO (1992)**

#### **5.6.1. SISTEM UN-BOUND (DIANGGAP TANPA BAHAN PENGIKAT)**

( $\alpha$  RATA-RATA = 45°)

#### **5.1. HUKUM KESEIMBANGAN**

$$w = 0 \times \sigma \times t$$

$$\frac{1}{2} P = r^2 \sigma \times t$$

$$r = h$$

(5.1)

P = Tekanan Gandar

W = 1/2 P = Tekanan Roda

Rata-rata = 45 (h = r

$$h = \sqrt{\frac{\alpha P}{2\pi\sigma t}}$$

FAKTOR DINAMIS UNTUK P

5.2. EMPIRIS : = ANTARA 1 - 4

KERHOVEN & DORMON : = 1 + 0,7 log n.

$$h = \frac{\alpha P}{2\pi\sigma t} \dots\dots\dots (5.2)$$

5.3. RUMUS UMUM I

a.  $h = \sqrt{\frac{\alpha P}{2\pi\sigma t}}$

b. KERKHOVEN & DORMON DAN FAKTOR REGIONAL

Dimana :

$n_o$  = sin n (lintas ekivalen yang diperhitungkan)

n = L.E.A. (Lintas Ekivalen Akhir)

$\sigma$  = faktor keadaan crainege

n = faktor keadaan tanah dan curah hujan

c. DORMON & JEIRFEROY'S

$$\begin{array}{l} E = 100 \text{ CBR} \\ \sigma t = 0,008 E \end{array} \parallel Tt = C/E \text{ CBR}$$

d. GANDAR TUNGGAL STANDARD

$$PO = 1/2 P$$

e. h DALAM CM

Po DALAM TON

n DALAM L.E.A.

$\sigma t$  DALAM CBR

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n)}{\text{CBR}}} \dots\dots\dots \text{Rumus Umum I (5.3)}$$

Dimana :

$$n_o = \varnothing \cdot n \cdot n$$

$$h = D_1 + D_2 + D_3$$

$D_1$  &  $D_2$  = Menurut persyaratan

$\varnothing$  &  $\pi$  = faktor regional, periksa daftar terlampir

#### 5.4. KELAS JALAN MENURUT GANDAR TUNGGAL STANDARD

- a. KELAS INTERNASIONAL  $P_o = 8 \text{ TON}$
- b. KELAS I  $P_o = 7 \text{ TON}$
- c. KELAS II  $P_o = 5 \text{ TON}$
- d. KELAS III  $P_o = 3,5 \text{ TON}$

didapat :

(5.4 a) 
$$h = 56 \sqrt{\frac{1 - 0,7 \log n}{\text{CBR}}}$$

di mana

$$N_o = \varphi \cdot \pi \cdot N$$

$$h = D_1 + D_2 + D_3$$

(5.4 b) 
$$h = 53 \sqrt{\frac{1 - 0,7 \log n}{\text{CBR}}}$$

dan

(5.4 c) 
$$h = 45 \sqrt{\frac{1 - 0,7 \log n}{\text{CBR}}}$$

$$D_1 \text{ \& } D_2 = \text{ Menurut } \text{ Persyaratan}$$

(5.4 d) 
$$h = 37,5 \sqrt{\frac{1 - 0,7 \log n}{\text{CBR}}}$$

$D_1$  = TEBAL KONSTRUKSI ASPALAN  
 $D_2$  = TEBAL BASE  
 $D_3$  = TEBAL SUB-BASE



### 5.5. NILAI EKIVALEN LALULINTAS (E)

Keadaan sesungguhnya kendaraan yang lewat terdiri dari bermacam-macam tekanan gandar ( $P_i$ ). Pengaruh  $P_i$  ini harus diekivalenkan dengan  $P_o$  (tekanan gandar tunggal standard).

#### 5.6.a. Analisa

Asumsi :  $P_i$  dengan  $n$  kali lewat pengaruhnya ekuivalen dengan  $P_o$  dengan  $n$  kali lewat.

Ambil Rumus Dasar :  $h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$

$$\begin{array}{l} h = 20 \sqrt{\frac{P_i (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} \\ h = 20 \sqrt{\frac{P_i (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} \end{array} \quad \parallel \quad \text{HARUS SAMA}$$

harus sama :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_i (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

$$\longrightarrow P_i (1 - 0,7 \log n_o) = P_o (1 - 0,7 \log n_o)$$

$$(5.5.a.1) \log e = P_o \frac{(P_i - 1) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

atau

$$(5.5.a.2) \text{ Anti log } \frac{(P_i - 1) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

Menurut analisa diatas tambah bahwa bila dasar berlainan maka rumus "e" juga berlainan.

### 5.5.b. Grafik

Berdasarkan rumus 5.5.a.1 di atas :

$$\log e = \text{Anti log } \frac{\left( \frac{P_i}{P_o} - 1 \right) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

$$\log e = \frac{\left[ \frac{P_i}{P_o} - 1 \right]}{0,7} - \left( \frac{P_i}{P_o} - 1 \right) \log n_o$$

$$\log e =$$

$$\text{Bila } \log e = Y$$

$$\text{Log } n_o = X$$

$$\frac{\frac{P_i}{P_o} - 1}{0,7} = a$$

$$\frac{\frac{P_i}{P_o} - 1}{0,7} = b$$

### 5.6 TEBAL LAPISAN-LAPISAN ( $D_1$ , $D_2$ , $D_3$ )

#### 5.6.a. Untuk jalan permanen berumur panjang bila :

(CBR) b = CBR dari lapisan base yang diperkenankan

(CBR) sb = CBR dari lapisan sub-base yang diperkenankan

(CBR) td = CBR dari lapisan tanah dasar yang diperkenankan

$$\text{maka } D_1 = h$$

$$D_2 = h_2 - D_1$$

$$D_3 = h_3 - h_2$$

dimana : ..... (5.5.3)

$$h_1 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_{sb}}}$$

$$h_3 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_{td}}}$$

### 5.6.b. Syarat minimum

Bila biaya yang ada terbatas, bisa dipergunakan persyaratan minimum seperti berikut :

Lintas Ekvivalen Harian	Tebal minimum $D_1 - D_2$	Tebal Minimum $D_1$		
		Jalan tahan lama beton aspal	Jalan umur sedang penetrasi dubel	Jalan sementara penetrasi tunggal
1000	25 cm	9 - 10 cm	-	-
100-1000	20 cm	7 - 8 cm	7 - 8	-
10-100	15 cm	7 - 8 cm	7 - 8	2,5 - 3
1-10	12,5 cm	4 - 5 cm	- 5	2,5 - 3

Grafik nilai ekvivalen e untuk berbagai macam berat kendaraan berdasarkan Rumus Tinggi Konstruksi :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

$$e \text{ anti log } \frac{\left( \frac{P_i}{P_o} - 1 \right) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

### Faktor Regional

Rumus umum un-bound

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

di mana:

$h = D_1 + D_2 + D_3$

$P_o =$  tekanan gandar tunggal STANDART (10n)

$n_o = \sigma \cdot \pi \cdot n$

$n =$  faktor drainagt

$n =$  faktor curah hujan

### Faktor Drainage (n)

No	Klasifikasi	Arti Tanah	Jenis Tanah	n
1.	Bagus	Dalam	Berubah kasar	1,0 - 1,5
2.	Baik	Dalam	Berubah halus	1,5 - 2,5
3.	Sedang	Tinggi	Berubah base	2,5 - 3,5
4.	Jumlah	Tinggi	Berubah base	3,5 - 5,0

### Faktor curah hujan

No	Jenis tanah Curah Hujan	PI m	PI 10 20	PI 20 30
1.	Jarang	n = 1,25 - 1,75	n = 2,00 - 2,50	n = 2,50 - 3,00
2.	Sedang	n = 1,75 - 2,50	n = 2,50 - 4,00	n = 3,00 - 6,00
3.	Banyak	n = 2,50 - 7,00	n = 4,00 - 4,00	n = 6,00 - 12,50

Jadi bila sumbu e dan sumbu n dibuat dalam skala logaritmis, maka untuk setiap harga PI/P<sub>0</sub> grafiknya akan merupakan garis lurus.

## 5.6.2. SISTEM BOUND (DIANGGAP DENGAN BAHAN PENGIKAT)

### Rumus Umum II

Analog dengan di depan, bila dihitung :  
h dalam cm

P<sub>o</sub> dalam ton (P<sub>o</sub> = 1/2 P) dalam CBR

n dalam lintas ekivalen rata-rata (L.E.R)

n<sub>o</sub> E.n.n Lintas ekivalen yang diperhitungkan

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

di mana

$$n_o = u \cdot \sigma \cdot n$$

$$h_e = a_1 D_1 - a_2 D_2 - a_3 D_3$$

Dikoreksi oleh/berdasarkan percobaan-percobaan Finn dan Shook, bila :

$$P_o = 8 \text{ tpm}$$

$$t = 1000$$

$$a_1 \text{ untuk aspal beton} = 2$$

$$a_2 \text{ untuk batu pecah} = 1$$

$$a_3 \text{ untuk sirtu} = 0,75$$

Bila dipergunakan rumus:

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

Dan

$$h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Maka konstruksi ini hanya bisa tahan terhadap 800.000 - 1.000.000 ulangan atau kira-kira hanya tahan = 2 1/2 tahun dengan lintasan ekivalen rata-rata 1.000 untuk pekerjaan dilapangan (tidak dilaboratorium) supaya aman dianggap hanya bisa tahan 1 tahun segala L.E.R. (Lintas Ekivalen rata-rata).

Berdasarkan hasil percobaan Finss dan Shook tersebut dan bila umur aspalan direncanakan u tahun, maka dengan memperhitungkan pengaruh/faktor regional & dan ( didapat rumus umum yang kedua sebagai berikut :

$$h_1 = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_0)}{(CBR)_b}}$$

$h_e$  dalam cm  
 $P_0$  dalam ton  
 $n$  L.E.P  
 $D_1, D_2, D_3$  dalam cm  
 $\mu$  umur dalam tahun

dimana :

$$n_0 = \mu \cdot \sigma \cdot \pi \cdot n$$

$$h_e = d_1 D_1 + d_2 D_2 + d_3 D_3$$

### Hukum Keseimbangan

$$W = O \times \sigma t$$

$$\frac{1}{2} P_e = \sigma r^2 \times \sigma t$$

$$r = h - \frac{1}{2} P \sigma \times \sigma t$$

$$h = \sqrt{\frac{P_0}{2 \sigma \times \sigma t}} - \Delta$$

### Faktor Dynamis P ( $\sigma$ )

diberi faktor dynamis

$$h = \sqrt{\frac{6P}{2 \sigma \cdot \sigma t}}$$

### Rumus Umum III

Analog dengan di depan :

$h$  dalam cm

$P_0$  dalam ton

$\sigma t$  dalam CBR

$$J = 1 - 0,7 \log n_o$$

$$n_o = \partial \cdot \pi \cdot n$$

$n$  diambil lintas ekivalen harian max

$n$  diambil lintas ekivalen harian yang max atau L.E.A

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{CBR}} - \Delta$$

#### Rumus Umum IV

Bila dipergunakan sebagai dasar rumus umum II (bound system) analog dengan sistem di atas didapat :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{CBR}} - \Delta$$

dimana :

$$n_o = u \cdot \partial \cdot n$$

$$h = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

#### Nilai Jari-Jari Bidang Kontak ( )

Oleh persatuan pabrik-pabrik ban telah ditentukan rumus dari nilai yang cukup aman sebagai berikut :

a. Untuk Roda Tunggal

$$\Delta = 1,3 W + 7,5 \text{ cm}$$

b. Untuk Roda Kembar

$$\Delta = 1,2 W + 14,4 \text{ cm}$$

dimana :

$$W = 1/2 P_o$$

c. Nilai  $a$  dihitung secara teoritis

$\Delta$  = jari-jari bidang kontak

$ca$  = tekanan angin dalam ban roda

$W = 1/2 P_o$  tekanan satu roda

## Hukum Keseimbangan

$C_a \times \text{luas bidang kontak} = W$

$$C_a \Delta^2 = \frac{1}{2} P_o$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{P_o}{2 \cdot C_a}}$$

bila :

$P_o$  dalam ton

$\Delta$  dalam cm

$c_a$  dalam kg/cm

## Nilai Ekuivalen Lalulintas (e)

Keadaan sesungguhnya kendaraan yang lewat terdiri dari bermacam-macam tekanan gandar ( $P_i$ ). Pengaruh  $P_i$  ini harus diekivalenkan dengan  $P_o$  (tekanan gandar tunggal standar).

### a. Analisa

Analog dengan rumus di depan akan terdapat rumus “e” sebagai berikut:

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} \quad - \Delta \text{ atau} \quad h + \Delta = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

Untuk  $P_i$  dengan  $n$  kali lewat  $\longrightarrow$

$$h + \Delta = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

Untuk  $P_o$  dengan  $n$  kali lewat  $\longrightarrow$

$$h + \Delta = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

Harus sama

$$\text{Jadi : } P_i (1 + 0,7 \log n_o) = P_o (1 + 0,7 \log n_o)$$

$$P_i (1 + 0,7 \log n_o) = P_o (1 - 0,7 \log a + 0,7 \log n_o)$$

$$\log e = \frac{\left( \frac{P_i}{P_o} - 1 \right) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

## b. Grafik

Analog dengan rumus di atas maka bila sumbu e dan sumbu n dibuat dalam skala logaritmis, maka untuk setiap harga  $P_i/P_o$  grafik e akan merupakan garis lurus.

### 5.6.3 Metode Perhitungan Tebal Perkerasan Dengan Mempergunakan n (jumlah total lintas ekuivalen selama umur rencana)

#### Rumus Umum V

Bila :

$$L.E.R = n$$

$$\text{Umur Rencana} = u \text{ tahun}$$

$$1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari}$$

$$- N = 365 u \cdot n - n =$$

$$n_o = u \cdot \partial \cdot n \cdot n$$

$$u \cdot \partial \cdot n \frac{N}{365 \cdot u}$$

$$\boxed{n_o \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365}}$$

Rumus Umum II menjadi :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{CBR}}$$

di mana:

$$n_o \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365}$$

$$h_e = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$



## Rumus Umum VI

Untuk jalan-jalan sub-standard

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

dimana :

$$n_o = \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365}$$

$$A = 17,8 \sqrt{\frac{P_o}{C_a}}$$

$$h_e = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Keterangan :

$h_e$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  dan  $A$  dalam cm

$P_o$  dalam ton

$c_a$  dalam  $\text{kg/cm}^2$

## Nilai Ekuivalen Lalulintas (e)

Nilai e adalah sama dengan pembahasan sejenis sebelumnya sehingga bisa dicari dengan mempergunakan grafik yang ada.

## Contoh-contoh perhitungan

### 1. Konstruksi perkerasan jalan Jakarta bypass

Jalan Jakarta bypass untuk menampung lalulintas ekuivalen kendaraan tiap hari dan untuk umur rencana terhadap tanah dasar dibuat dari tanah liat dan pasir laut yang dipadatkan. Untuk kedua macam tanah dasar ini diambil  $\text{CBR} = 6$ .

Desain dari lapisan-lapisan perkerasannya mengalami perubahan-perubahan dan perubahan bahan paling akhir yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

Tebal	Jenis Lapisan	Bahan
2 cm	Surface	Beton aspal klas
6 cm	Binder	Beton aspal klas
15 cm	Base	Sirtu pecah
20 cm	Sub-base	Sirtu pecah
	Tanah dasar (sub-grade)	Tanah liat/ pasir laut

Kontrol perhitungan dengan mempergunakan rumus :

$$a) \quad h_{ek} = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log N \cdot \partial \cdot \pi n)}{CBR}} \quad b) \quad h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Ketentuan-ketentuan :

$P_0 = 8 \text{ ton}$

$= 2.000$

(umur rencana = 20 tahun)

$\partial$  (daerah Jakarta) = 2,5

$n$  (daerah Jakarta) = 9

CBR diambil = 9

$a_1$  (beton aspal) = 2

$a_2$  (sirtu pecah) = 1

$a_3 = a_2 = 1$

$D_1$  diambil = 9 cm

$D_2$  diambil = 15 cm

Perhitungan :

$$h_{eb} = 20 \sqrt{\frac{8 (1 - 0,7 \log 20 \cdot 2,5 \cdot 9 \cdot 2000)}{6}}$$

$$= 20 \sqrt{\frac{8 (1 - 0,7 \log 900.000)}{6}}$$

$$= 52,51 \text{ cm}$$

$$= 53 \text{ cm.}$$

$$h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$53 = 2.9 + 1.15 + 1.D_3$$

$$D_3 = 53 - 18 - 15$$

$$D_3 = 20 \text{ cm (cocok).}$$

#### Catatan :

Jalan Jakarta bypass ini selesai dibangun pada tahun 1963. Setelah umur 12 tahun di beberapa tempat telah mengalami retak-retak dan kemudian diadakan resurfacing dengan beton aspal

tebal rata-rata 5 cm. Kesimpulannya ialah CBR tanah liat dan pasir laut diambil sama dengan 6 adalah terlalu besar, adapun yang aman ialah bila diambil CBR = 4, tertentu di daerah timbunan.

## 2. Konstruksi Perkerasan Jalan Jagorawi

Jalan Jagorawi (Jakarta-Bogor-Ciawi) didesain untuk menampung lalu lintas ekuivalen rata-rata 1.790 kendaraan ( $P_o = 18.000$  lbs) tiap hari dan untuk umur rencana 20 tahun tanah dasar dari tanah liat setempat dipadatkan. Desain dari lapisan-lapisan perkerasannya juga berkali-kali mengalami perubahan dan perubahan paling akhir yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

Tebal	Jenis Lapisan	Bahan
10 cm	Surface binder	Beton aspal klas A
23 cm	Asphaltic base	Beton aspal klas B
15 cm	Sub-base	Sirtu
	Tanah dasar	Tanah liat

Kontrol perhitungan dengan mempergunakan rumus :

$$a) \quad h_{ek} = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 + 0,7 \log u \cdot \partial \cdot \pi n)}{CBR}} \quad b) \quad h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Ketentuan-ketentuan :

$P_o = 8,2$  ton (18.000 lbs)

$= 1.790$

$u$  (umur rencana = 20 tahun)

$\partial$  (daerah Bogor) = 2.00

$n$  (daerah Bogor) = 11.0

CBR diambil = 4 (umumnya timbunan)

$a_1$  (beton aspal klas A) = 2

$a_2$  (sirtu pecah klas B) = 1,5

$a_3$  (sirtu klas sedang) = 0,70

$D_1$  diambil = 10 cm

$D_2$  diambil = 23 cm

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 h_{eb} &= 20 \sqrt{\frac{8,2 (1 + 0,7 \log 20 \cdot 200 \cdot 111790)}{4}} \\
 &= 20 \sqrt{\frac{8,2 (1 + 0,7 \log 787600)}{4}} \\
 &= 64.86 \text{ cm} \\
 &= 65 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$65 = 2.10 + 1,5 \cdot 23 + 0,7 \cdot D_3$$

$$0,7 D_3 = 65 - 20 - 34,5$$

$$D_3 = \frac{10,5}{0,7} = 15$$

$$D_3 = 15 \text{ cm. (cocok)}$$

### 3. Contoh Soal Jalan Kerja

Suatu proyek pembangunan akan mempergunakan jalan setempat yang telah ada untuk jalan kerja. Setelah diadakan penelitian terhadap jalan tersebut didapat hasil seperti berikut :

- lapisan penutup ( $D_1$ ) dan lapisan base ( $D_2$ ) tidak ada.
- Lapisan sub-base ( $D_3$ ) terdapat dari sirtu dengan tebal rata-rata 20 cm.

Ketentuan-ketentuan :

- CBR tanah dasar bisa diambil 8
- Faktor regional bisa diambil  $\partial = 2$   
 $a = 12,5$
- Nilai ekivalen untuk sirtu  $a = 0,75$
- Truck yang akan dipergunakan oleh proyek berukuran ekivalen dengan tekanan gandar tunggal 8 ton dan  $a$  supaya diambil 120 psi (8,4 kg/cm<sup>2</sup>) agar aman.

Ditanyakan berapa jumlah lintasan ( $n$ ) truck dengan ukuran tersebut bisa lewat di jalan tersebut baik di musim kering maupun di musim hujan sampai jalan tersebut menjadi rusak?

**Jawab :**

Karena jalan kerja tersebut harus bisa dipergunakan dalam musim hujan, maka rumus yang dipergunakan adalah :

$$h_e = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 + 0,7 \log n_0)}{\text{CBR}}} - \Delta$$

$$\text{dimana } n_0 = \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365} \quad N \text{ yang harus dicari}$$

$$h_e = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 + 0,7 \log \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365})}{\text{CBR}}}$$

dimana :

$$h_e = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$= 0 - 0 + 0,75 \cdot 20$$

$$h_e = 15 \text{ cm}$$

Dan :

$$A = 17,8 \sqrt{\frac{P_0}{C_a}}$$

$$= 17,8 \sqrt{\frac{8}{8,4}}$$

$$= 17 \text{ cm.}$$

$$= 15 + 17 = 20 \sqrt{\frac{8 (1 + 0,7 \log \frac{2.12,5.N}{365})}{8}}$$

$$8$$

$$= N = 2471 \text{ lintasan.}$$

### Rumus nilai ekivalen tebal lapisan (a)

Berdasarkan rumus “odemark”

Lapisan I dengan $a_1$ dan $E_1$
Lapisan II dengan $a_2$ dan $E_2$
Lapisan III dengan $a_3$ dan $E_3$

$a$  = nilai ekivalen tebal lapisan

$E$  = modulus elastisitas

Bila ada konstruksi tidak jelas seperti tergambar di mana umumnya:

Lapis I adalah beton aspal

Lapis II adalah batu pecah atau sirtu pecah

Lapis III adalah sirtu dan bila batu pecah standard dengan CBR = 80 - 100%

Mempunyai sudut penyebaran muatan sebesar 45( sehingga  $a_2 = \tan 45^\circ (=1$ , maka dicatat rumus sebagai berikut :

$$a_2 = 1 \left[ \frac{E_1}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$a_1 = 0,9$$

dimana  $E$  bisa diambil :  $E = 100 \text{ CBR}$

$$a_3 = 1.1 \left[ \frac{E_3}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

**Contoh :**

(e) aspal beton = 125.000 kg/cm<sub>2</sub>  
 CBR batu pecah = 80 ton (e) batu pecah = 8.000  
 CBR sirtu = 30 atau (e) sirtu = 3.000

Maka didapat :

$$a_1 (\text{aspal beton}) = 0.9 \left[ \frac{125.000}{8.000} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,16$$

$$a_3 (\text{sirtu}) = 1.1 \left[ \frac{3.000}{8.000} \right]^{\frac{1}{3}} = 7,9$$

sedang  $a_2 = 1$ .

## ***Bab 6 Aspal Beton Campuran Panas***

Aspal beton campuran panas merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran homogen antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya maka kedua material harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum dicampur yang dikenal sebagai “hot mix”. Pekerjaan pencampuran dilakukan di pabrik pencampur kemudian dibawa ke lokasi dan dihampar dengan menggunakan alat penghampar (paving machine) sehingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata untuk selanjutnya dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton.

### **6.1. KLASIFIKASI ASPAL BETON**

- Berdasarkan fungsinya aspal beton campuran panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut :
  1. Sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air.
  2. Sebagai lapis pondasi atas.
  3. Sebagai lapis pembentuk pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan.

Sesuai dengan fungsinya maka lapis aspal beton mempunyai kandungan agregat dan aspal yang berbeda. Sebagai lapis aus, maka kadar aspal yang dikandungnya haruslah cukup sehingga dapat memberikan lapis yang kedap air. Agregat yang dipergunakan lebih halus dibandingkan dengan aspal beton yang berfungsi sebagai lapis pondasi.

- Berdasarkan metode pencampurannya, aspal beton dapat dibedakan atas :
  1. Aspal beton Amerika, yang bersumber kepada Asphalt Institute.
  2. Aspal beton durabilitas tinggi, yang bersumber pada BS 594, Inggris, dan dikembangkan oleh CQCMU, Bina Marga, Indonesia.

## **6.2. KARAKTERISTIK CAMPURAN**

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah sebagai berikut :

### **1. Stabilitas**

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

- Agregat dengan gradasi yang rapat (dense graded).
- Agregat dengan permukaan yang kasar.
- Agregat berbentuk kubus
- Aspal dengan penetrasi rendah
- Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

Agregat dengan gradasi baik, atau bergradasi rapat akan memberikan rongga antar butiran agregat (voids in mineral aggregate) yang kecil yang menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. Void in mineral aggregate (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (voids in mix = VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang disebut bleeding.

### **2. Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)**

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).



- VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya bleeding cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya bleeding menjadi besar.

### **3. Fleksibilitas (Kelenturan)**

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

- Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

### **4. Skid Resistance (Kekesatan)**

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh :

- Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
- Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding.
- Penggunaan agregat berbentuk kubus.
- Penggunaan agregat kasar yang cukup.

### **5. Fatigue Resistance (Ketahanan Kelelahan)**

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (rutting) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

### **6. Workability (Kemudahan Pelaksanaan)**

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Workability ini dipengaruhi oleh :

- Gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.

- Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- Kandungan bahan pengisi (filler) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

### **6.3. PERENCANAAN CAMPURAN (MIX DESIGN)**

Lapisan aspal yang baik haruslah memenuhi 4 (empat) syarat yaitu stabilitas, durabilitas, fleksibilitas dan tahanan geser (skid resistance). Jika menggunakan gradasi rapat (dense graded) akan menghasilkan kepadatan yang baik, berarti memberikan stabilitas yang baik, tetapi mempunyai rongga pori yang kecil sehingga memberikan kelenturan (fleksibilitas) yang kurang baik dan akibat tambahan pemadatan dari repetisi beban lalu lintas serta aspal yang mencair akibat pengaruh cuaca akan memberikan tahanan geser yang kecil. Sebaliknya jika menggunakan gradasi terbuka (*open graded*), akan diperoleh kelenturan yang baik tetapi stabilitas kurang. Kadar aspal yang terlalu sedikit akan mengakibatkan kurangnya lapisan pengikat antar butir, lebih-lebih jika kadar rongga yang dapat diresapi aspal besar. Hal ini akan mengakibatkan lapisan pengikat aspal cepat lepas dan durabilitas berkurang. Kadar aspal yang tinggi mengakibatkan kelenturan yang baik tetapi dapat terjadi bleeding sehingga stabilitas dan tahanan geser berkurang. Untuk itu haruslah direncanakan campuran antara agregat dan aspal seoptimal mungkin sehingga dihasilkan lapisan perkerasan dengan kualitas yang tinggi yang meliputi gradasi agregat (dengan memperhatikan mutunya) dan kadar aspal sehingga dihasilkan lapisan perkerasan yang memenuhi persyaratan tentang stabilitas, durabilitas, fleksibilitas dan tahanan geser. Yang perlu diperhatikan adalah jika agregat dicampur dengan aspal maka:

- Partikel-partikel antar agregat akan terikat satu sama lain oleh aspal.
- Rongga-rongga agregat ada yang terisi aspal dan ada pula yang terisi udara.
- Terdapat rongga antar butir yang terisi udara.
- Terdapat lapisan aspal yang ketebalannya tergantung dari kadar aspal yang dipergunakan untuk menyelimuti partikel-partikel agregat.

Dari hasil mix design diharapkan diperoleh suatu lapisan perkerasan yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Kadar aspal cukup memberikan kelenturan.
- Stabilitas cukup memberikan kemampuan memikul beban sehingga tak terjadi deformasi yang merusak.
- Kadar rongga cukup memberikan kesempatan untuk pemadatan tambahan akibat beban berulang dan flow dari aspal.
- Dapat memberikan kemudahan kerja (workability) sehingga tidak terjadi segregasi.
- Dapat menghasilkan campuran yang akhirnya menghasilkan lapis perkerasan yang sesuai dengan persyaratan dalam pemilihan lapis perkerasan pada tahap perencanaan.

Dengan demikian faktor yang mempengaruhi kualitas dari aspal beton adalah absorpsi aspal, kadar aspal efektif, rongga antar butir, rongga udara dalam campuran dan gradasi agregat.

### 6.3.1. Perhitungan dalam Campuran Aspal Beton

Untuk mengetahui karakteristik aspal beton yang telah dipadatkan, berikut ini akan dibahas perhitungan yang seringkali dipergunakan pada pekerjaan di laboratorium dan dari hasil coring di lapangan. Secara skematis campuran aspal beton yang telah dipadatkan dapat dilihat pada gambar 6.1 berikut.

#### Volume

$V_a$  : Volume pori dalam campuran yang telah dipadatkan (VIM)

$V_b$  : Volume aspal dalam campuran yang telah dipadatkan

$V_{ba}$  : Volume aspal yang terabsorpsi

$V_{be}$  : Volume aspal efektif =  $(V_b - V_{ba})$

$V_{mb}$  : Volume bulk dari campuran yang telah dipadatkan

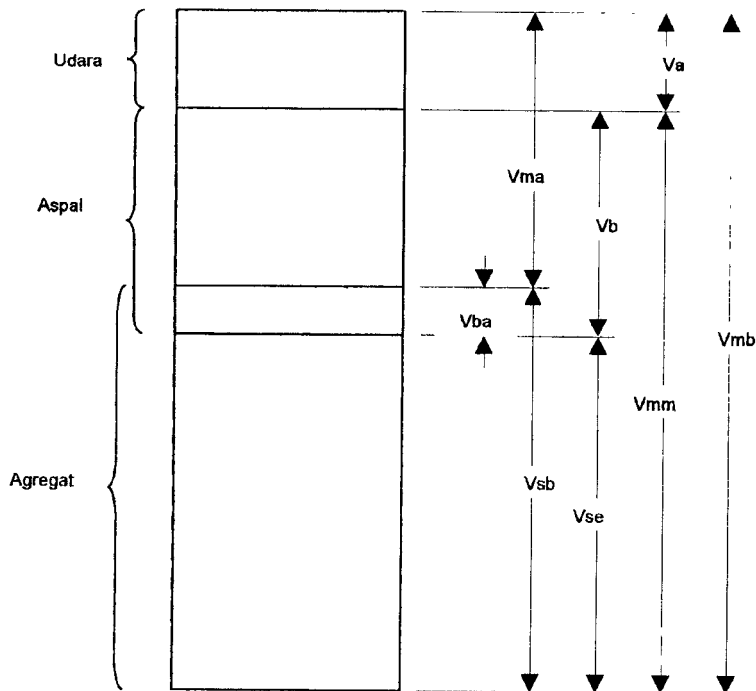
$V_{mm}$  : Volume dari campuran tanpa volume udara

$V_p$  : Volume dari lapisan parafin

$V_{sb}$  : Volume agregat (bulk)

$V_{se}$  : Volume agregat (efektif)

$V_{ma}$  : Volume pori antar butiran agregat



**Gambar 6.1.** Skematik campuran aspal beton yang telah dipadatkan

## Berat

- W : Berat volume dari campuran yang telah dipadatkan  
W1 : Berat dari labu terisi air  
W2 : Berat dari labu terisi sampel dan air  
Wb : Berat aspal dalam campuran  
Ws : Berat agregat  
Wba : Berat aspal yang terabsorpsi  
Wbe : Berat aspal efektif  
Wm : Berat contoh campuran yang telah dipadatkan  
Wma : Berat koreksi contoh yang telah dipadatkan  
Wmm : Berat contoh yang belum dipadatkan  
Wmp : Berat contoh yang telah dipadatkan dan dilapisi parafin  
W<sub>mpw</sub> : Berat contoh yang telah dipadatkan, dilapisi parafin dan direndam dalam air  
W<sub>mssd</sub> : Berat contoh yang telah dipadatkan, kering permukaan jenuh  
Ws : Berat kering agregat.

## Berat Jenis

- G1, G2,..., Gn : Berat jenis bulk dari masing-masing agregat 1, 2, ..., n. Khusus untuk filler, dimana berat jenis bulk sukar ditentukan, dipergunakan berat jenis apparent.  
Gb : Berat jenis aspal  
Gmb : Berat jenis bulk dari campuran yang telah dipadatkan  
Gmba : Berat jenis koreksi dari campuran yang telah dipadatkan  
Gmm : Berat jenis maksimum dari campuran (tanpa pori)  
Gp : Berat jenis parafin  
Gsb : Berat jenis bulk untuk agregat total yang ada  
Gse : Berat jenis efektif dari total agregat.

## Persentase Berat

- P1, P2, ..., Pn : Persentase berat dari komponen agregat 1, 2,..., n  
Pb : Kadar aspal, persentase dari berat total campuran  
Pba : Aspal yang terabsorpsi, persentase dari berat agregat  
Pbe : Kadar aspal efektif, persentase dari berat total campuran yang telah dikoreksi  
Ps : Agregat, persentase dari berat total campuran  
Pa : Pori udara, persentase dari total volume campuran yang telah dipadatkan.

## Berat Jenis Bulk (*Bulk Specific Gravity*) dari Total Agregat

Aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, mineral filler yang berasal dari berbagai macam agregat yang masing-masing mempunyai berat jenis sendiri-sendiri. Untuk memudahkan perhitungan maka berat jenis bulk agregat total yang ada dinyatakan dalam :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

**Berat Jenis Efektif (Effective Specific Gravity) dari Total Agregat**

$$G_{se} = \frac{W_{nm} + W_b}{W_{nm} + W_b}$$

$$G_{se} = \frac{W_{nm}}{\gamma_w} + \frac{W_1}{\gamma_w} - \frac{W_2}{\gamma_w} \quad \gamma_w = \text{berat volume air}$$

**Aspal yang Terabsorbsi Agregat**

Merupakan persentase dari berat agregat

$$P_{ba} = 100 \left( \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \right) G_b$$

**Berat Jenis Bulk dari Campuran yang Telah Dipadatkan**

$$G_{mb} = \frac{W_m}{\frac{W_{mp}}{\gamma_v} - \frac{W_{mpw}}{\gamma_w} - \left( \frac{W_{mp} - W_m}{G_p} \right)}$$

atau

$$G_{mb} = \frac{W_m}{\frac{W_{mssd}}{\gamma_w} - \frac{W_{mw}}{\gamma_w}}$$

**Berat Jenis Maksimum dari Campuran**

Berat jenis campuran adalah berat jenis tanpa pori dari campuran.

$$G_{mm} = \frac{W}{V_{sb} + V_b - V_{ba}}$$

#### Penentuan Berat dan Volume dalam 100 cm<sup>3</sup> Sampel

- Berat,  $W = 100$  Gmb
- Berat aspal,  $W_b =$
- Berat agregat,  $W_s = W - W_b$
- Berat aspal yang terabsorbsi,  $W_{ba} =$
- Volume aspal,  $V_b =$
- Volume dari aspal yang terabsorbsi,  $V_{ba} = W_{ba}/G_b$
- Volume agregat,  $V_{sb} = W_s/G_{sb}$ .

#### Volume Pori dalam Campuran

Volume pori dalam campuran (Voids in Mix = VIM)

$$VIM = \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) 100$$

atau

$$VIM = 100 - (V_b + V_{sb} - V_{ba})$$

#### Volume Pori antar Butiran Agregat

Volume pori antar butiran agregat (Voids in Mineral Agregat = VMA)

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_m) + G_m \cdot P_b}{G_{sb}}$$

atau

$$VMA = 100 - V_{sb}$$

#### Kadar Aspal Efektif

$$P_{be} = \left[ \frac{P_b - \frac{P_{ba}}{100} (100 - P_b)}{100 - \frac{P_{ba}}{100} (100 - P_b)} \right] 100$$

### 6.3.2. Pemeriksaan dengan Alat Marshall

Kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall yang pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall yang dikembangkan selanjutnya oleh U.S. Corps of Engineer. Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stability) terhadap keelehan plastis (flow) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam “mm atau 0,01”. Alat Marshall (lihat gambar 6.7 pada lampiran) merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (proving ring) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. Proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat juga arloji kelelahan (flow meter) untuk mengukur keelehan plastis (flow). Benda uji berbentuk silinder 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan hammer seberat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm) yang dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit. Dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat Marshall diperoleh data-data sebagai berikut :

- Stabilitas, dinyatakan dalam bilangan bulat yang menunjukkan kekuatan, ketahanan terhadap terjadinya alur (rutting).
- Berat volume, dinyatakan dalam ton/m<sup>3</sup>.
- Kadar aspal, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma.
- Kelelahan plastis (flow) dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch yang dapat merupakan indikator terhadap lentur.
- VIM (persen rongga dalam campuran) dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas dan kemungkinan bleeding.
- VMA (persen rongga terhadap agregat) dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA bersama VIM merupakan indikator dari durabilitas.
- Penyerapan aspal (persen terhadap campuran) sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektif.
- Tebal lapisan aspal (film aspal), dinyatakan dalam mm. Film aspal merupakan petunjuk tentang sifat durabilitas campuran.
- Kadar aspal efektif, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma.
- Hasil bagi Marshall (koefisien Marshall), merupakan hasil bagi stabilitas dan flow, dinyatakan dalam kN/mm, yang merupakan indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan.

### 6.3.3. Spesifikasi Campuran

Sifat campuran sangat ditentukan oleh dari gradasi agregat, kadar aspal total dan kadar aspal efektif, VIM, VMA, dan sifat bahan mentah sendiri. Variasi dari hal tersebut di atas akan menghasilkan kualitas dan keseragaman campuran yang berbeda-beda. Untuk itu agar dapat memenuhi kualitas dan keseragaman jenis lapisan yang telah dipilih dalam perencanaan perlu dibuatkan spesifikasi campuran yang menjadi dasar pelaksanaan di lapangan, dengan

demikian diharapkan akan dapat diperoleh sifat campuran yang memenuhi syarat teknis dan keawetan yang diharapkan. Spesifikasi campuran bervariasi, tergantung dari :

- Gradasi agregat, yang dinyatakan dalam nomor saringan.
- Perencanaan tebal perkerasan yang dipengaruhi oleh metode yang digunakan.
- Kadar aspal yang umum dinyatakan dalam persen terhadap berat campuran seluruhnya.
- Komposisi dari campuran, meliputi agregat dengan gradasi yang bagaimana yang akan dipergunakan.
- Sifat campuran yang diinginkan, dinyatakan dalam nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan tebal film aspal.
- Metode rencana campuran yang dipergunakan.

#### **6.3.4. Perencanaan Campuran**

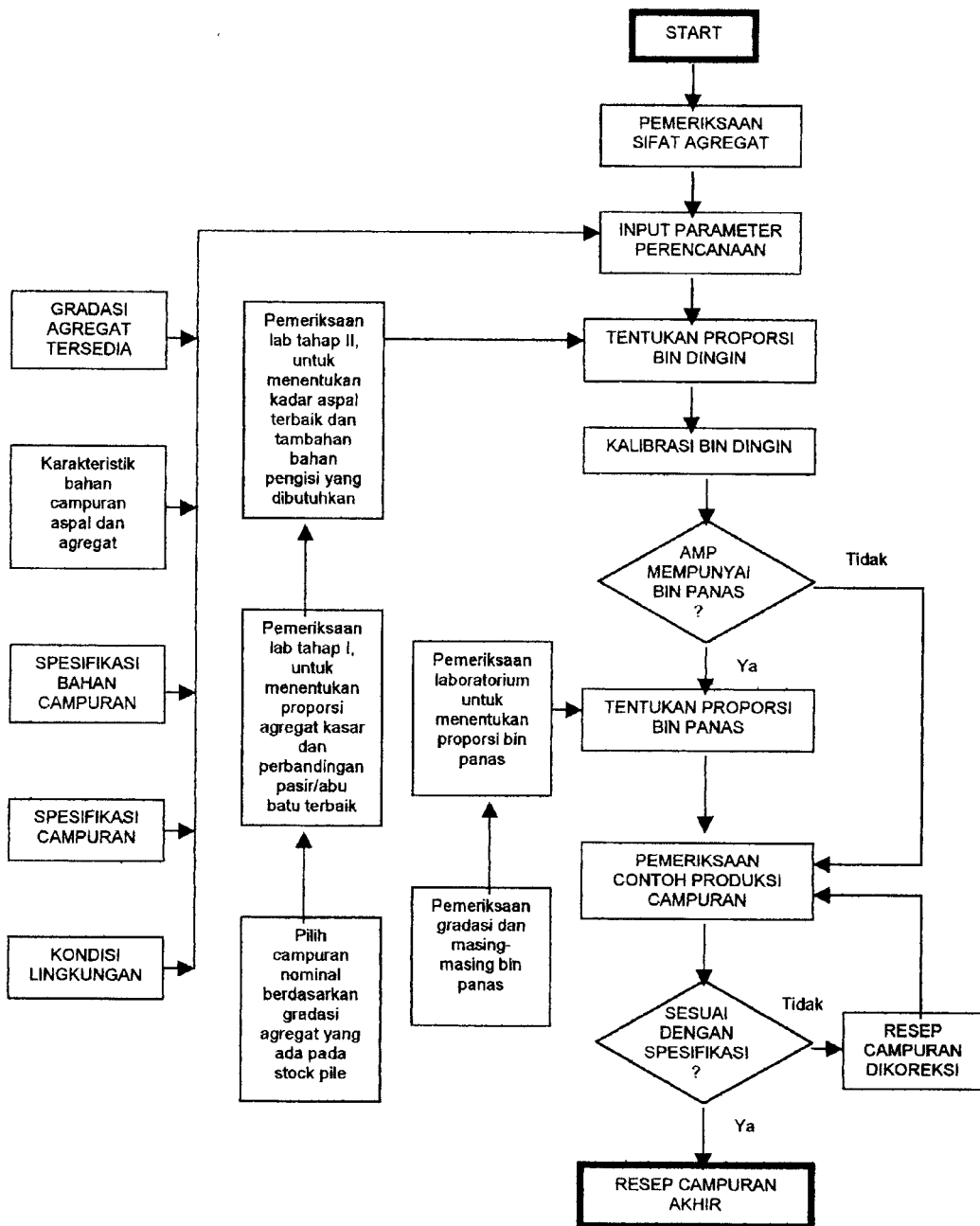
##### **Metode Bina Marga**

Perencanaan campuran dengan menggunakan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pencampuran agregat yang tersedia di lokasi divariasikan untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal film aspal dan stabilisasi. Jadi pada metode ini, rongga udara dalam campuran merupakan kriteria pokok bersama dengan kadar aspal efektif yang akhirnya menentukan tebal film aspal yang terjadi. Kondisi ini memberikan sifat durabilitas yang tinggi dan karenanya sering disebut sebagai campuran aspal dengan durabilitas tinggi. Jenis-jenis campuran aspal dengan durabilitas tinggi yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini adalah HRS (Hot Rolled Sheet) kelas B untuk jalan dengan lalu lintas tinggi, ATB (Asphalt Treated Base) dan ATBL (Asphalt Treated Base Levelling) sebagai lapis pondasi.

Prosedur perencanaan campuran dengan metode Bina Marga seperti ditunjukkan pada bagan alir gambar 6.2. berikut ini.

1. Pemilihan agregat dan penentuan sifat-sifatnya harus sesuai dengan spesifikasi material. Standard yang menjadi parameter perencanaan adalah :
  - Berat jenis agregat, yang akan dipergunakan dalam perhitungan sifat campuran.
  - Nilai absorpsi air dari agregat yang dapat dipergunakan sebagai indikator penentuan besarnya absorpsi aspal.
  - Sifat-sifat agregat yang umumnya harus dipenuhi untuk lapis perkerasan jalan.
  - Gradasi butir dari masing-masing kelompok agregat kasar, agregat sedang, pasir dan abu batu yang biasanya digambarkan dalam amplop gradasi yang ditetapkan. Karena perencanaan campuran menggunakan matriks 3 x 3, maka agregat kasar dan agregat sedang dikelompokkan pada kelompok “agregat kasar” yang proporsi pencampurannya harus ditentukan terlebih dahulu. Contoh batas distribusi ukuran partikel agregat kasar dan agregat halus serta abu batu dapat dilihat pada tabel 6.1.





**Gambar 6.2.** Bagan Alir Perencanaan Campuran Metode Bina Marga

**Tabel 6.1.** Contoh batas distribusi ukuran partikel agregat kasar dan halus

<b>Tapisan Bukaan Ukuran ASTM</b>	<b>Agregat Kasar % Lolos Saringan</b>	<b>Agregat Halus/Abu Batu % Lolos Saringan</b>
3/4 “	100	
1/2 “	30 - 100	
3/8 “	0 - 55	100
No.4	0 - 10	90 - 100
No.4		40 - 100
No.30		25 - 100
No.70		7 - 60
No.200		5 - 11

2. Penentuan campuran nominal berdasarkan sifat-sifat yang diperoleh pada langkah 1 dan dari kadar aspal efektif yang ditentukan dalam spesifikasi. Rencana campuran nominal ini diperlukan sebagai :
- Saringan tingkat pertama, apakah agregat yang tersedia dapat dipergunakan atau tidak.
  - Resep awal untuk campuran percobaan di laboratorium yang memenuhi persyaratan gradasi campuran dan kadar aspal seperti yang ditetapkan dalam spesifikasi.

Komponen agregat campuran dinyatakan dalam fraksi rencana yang terdiri dari :

CA: Fraksi agregat kasar, yaitu persen berat material yang tertahan saringan no.8 terhadap berat total campuran.

FA: Fraksi agregat halus, yaitu persen berat material yang lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200 terhadap berat total campuran.

FF: Fraksi bahan pengisi, yaitu berat material yang lolos saringan no.200 terhadap berat total campuran.

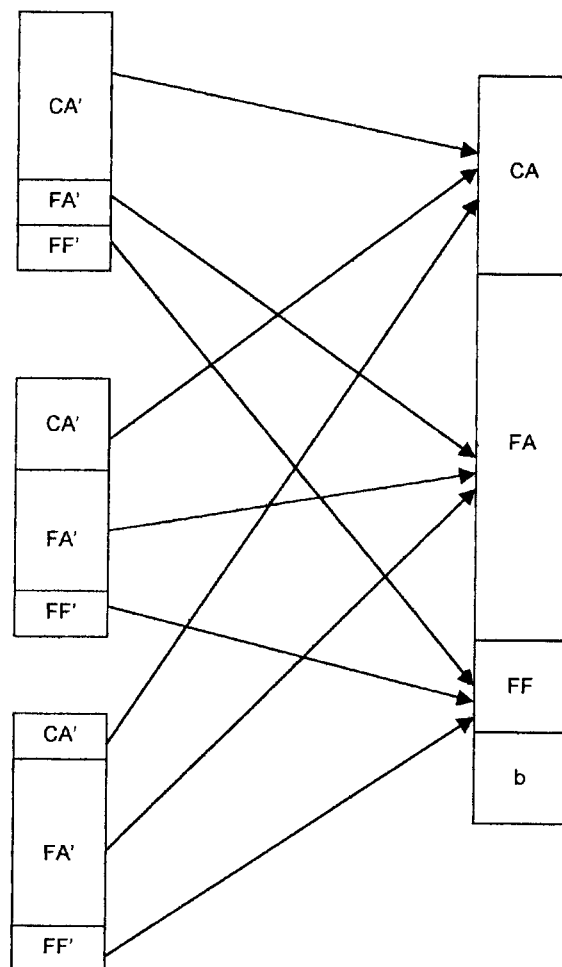
Proporsi bahan mentah dinyatakan dalam proporsi penakaran (batch proportion), dimana setiap penakaran mempunyai andil yang cukup besar untuk masing-masing fraksi yang secara skematis ditunjukkan pada Gambar 6.3.

Untuk memudahkan perencanaan proporsi penakaran perhitungan ditentukan dengan menggunakan aljabar matriks;  $CA + FA + FF + b = 100 \%$ , dimana  $b$  = kadar aspal total. Campuran nominal direncanakan sedemikian rupa sehingga merupakan nilai tengah dari batas yang diberikan pada spesifikasi. Sebagai contoh pada Tabel 6.2. diberikan batas spesifikasi dan resep campuran nominal untuk campuran HRS kelas B.

Gradasi dari agregat campuran nominal yang dihitung berdasarkan persen terhadap berat total agregat (bukan terhadap berat total campuran) digambarkan pada amplop gradasi agregat campuran. Gradasi agregat campuran nominal tidak perlu sesuai sepenuhnya dengan amplop gradasi, asalkan batas fraksi rencana yang ditentukan masih memenuhi.

**Tabel 6.2.** Contoh Spesifikasi dan Campuran Nominal HRS Kelas B

Fraksi Rencana Campuran (% Berat Total Campuran)	Spesifikasi %	Resep Campuran %
CA	30 - 50	40
FA	39 - 59	48
FF	4,5 - 7,5	4,5
Kadar Bitumen Efektif	* 6,2 %	
Kadar Aspal Total	* 6,7 %	7,5 %
Perbandingan Pasir : Abu Batu		1 : 1



**Gambar 6.3.** Batch proportion

3. Pemeriksaan sifat campuran di laboratorium tahap pertama. Resep campuran nominal yang ditentukan hanya berdasarkan gradasi dan absorpsi air harus diperiksa sifat campurannya untuk selanjutnya dikoreksi sehingga dapat merupakan resep akhir dari campuran. Pemeriksaan sifat campuran tahap pertama ini dilakukan dengan mengambil kadar aspal tetap yaitu kadar aspal efektif + persen absorpsi aspal yang diperkirakan ( 40 % absorpsi air. Untuk dapat menggambarkan sifat campuran sehubungan dengan variasi campuran agregat pada kondisi kadar aspal tetap, maka dibuatkan variasi campuran agregat dengan basis campuran nominal. Umumnya dibuatkan untuk 3 (tiga) proporsi agregat kasar yaitu :
- Proporsi agregat kasar campuran nominal
  - Proporsi agregat kasar untuk campuran nominal + 10 %
  - Proporsi agregat kasar untuk campuran nominal - 10 %.

Masing-masing proporsi agregat kasar dicoba untuk minimum 3 macam campuran pasir dan abu batu yang dinyatakan dalam perbandingan pasir : abu batu. Dengan demikian terdapat (9) macam campuran yang akan diperiksa di laboratorium. Dengan memperhatikan sifat campuran yang diperoleh untuk masing-masing contoh pemeriksaan dan membandingkan dengan sifat campuran yang diinginkan serta kondisi lingkungan maka dapat dipilih 1 proporsi agregat kasar dan perbandingan pasir dan abu batu terbaik. Disamping itu dalam pemilihan ini perlu dipertimbangkan juga mengenai :

- Pasokan abu batu dan pasir yang dapat dihasilkan pada lokasi tersebut ikut menentukan pilihan perbandingan pasir dan abu batu.
- Kondisi cuaca di lokasi yang mungkin menuntut makro tekstur campuran yang berbeda. Di lokasi yang sering turun hujan menuntut gaya gesek yang lebih baik yang berarti dibutuhkan makro tekstur yang lebih kasar. Hal ini dapat dipenuhi dengan memilih proporsi agregat kasar lebih besar.
- Kelandaian jalan juga dapat merupakan suatu pertimbangan dalam memilih proporsi agregat kasar terbaik.

Dari hasil pemeriksaan di laboratorium tahap pertama ini diperoleh proporsi agregat kasar dan perbandingan pasir dan abu batu yang terbaik dan berdasarkan hasil ini pemeriksaan dilanjutkan ke pemeriksaan campuran di laboratorium tahap kedua.

4. Pemeriksaan sifat campuran di laboratorium tahap kedua bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum dan persentase penambahan bahan pengisi jika diperlukan terhadap proporsi agregat kasar dan perbandingan pasir dan abu batu terbaik yang merupakan hasil pemeriksaan tahap pertama. Untuk itu perlu direncanakan 6 gradasi campuran lagi dengan variasi kadar aspal dan bahan pengisi sedangkan proporsi agregat kasar dan perbandingan pasir dan abu batu konstan sebesar hasil yang diperoleh pada tahap pertama. Kadar aspal divariasikan ( 1 % dan ( 2% dari kadar aspal pada campuran nominal. Jika dirasakan perlu menambahkan bahan pengisi (filler) maka dicoba dengan penambahan 2 % sampai 4 %, sehingga diharapkan akan diperoleh kadar aspal dan bahan pengisi terbaik sesuai dengan sifat campuran yang diinginkan pada spesifikasi.

5. Korelasi hasil perencanaan campuran di laboratorium dengan mesin pencampur Asphalt Mixing Plant (AMP). Hasil perencanaan campuran (mix design) harus dapat diterapkan di mesin pencampur. Ketepatan pengaturan dari bagian-bagian AMP sangat menentukan kualitas produksi. Untuk itu perlu diperhatikan hal-hal berikut ini:
  - Kalibrasi dan pengaturan cold bin sesuai dengan hasil perencanaan campuran di laboratorium.
  - Penentuan proporsi penakaran agregat panas pada hot bin (jika ada).
  - Kalibrasi dan pengaturan hot bin sesuai dengan hasil perencanaan.
6. Pemeriksaan percobaan produksi mesin pencampur. Sifat dari campuran yang diproduksi seringkali berbeda dengan sifat yang diperoleh di laboratorium. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan produksi sebelum mesin pencampur berproduksi penuh. Dengan demikian diharapkan rencana campuran dapat dikoreksi sehingga menjadi resep campuran akhir.

### **Metode Asphalt Institute**

Secara umum metode Asphalt Institut dapat dilihat pada bagan alir berikut ini.

Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan, oleh karena itu yang menjadi dasar adalah agregat campuran yang harus memenuhi lengkung Fuller (lihat Gambar 6.5 pada lampiran). Ini berarti bahwa gradasi campuran yang dipergunakan pada metode ini adalah agregat bergradasi baik/menerus. Batas gradasi campuran yang diizinkan dan sifat campuran yang diinginkan diberikan pada spesifikasi.

Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan grafik ataupun secara analitis. Rumus dasar pencampuran adalah :

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd$$

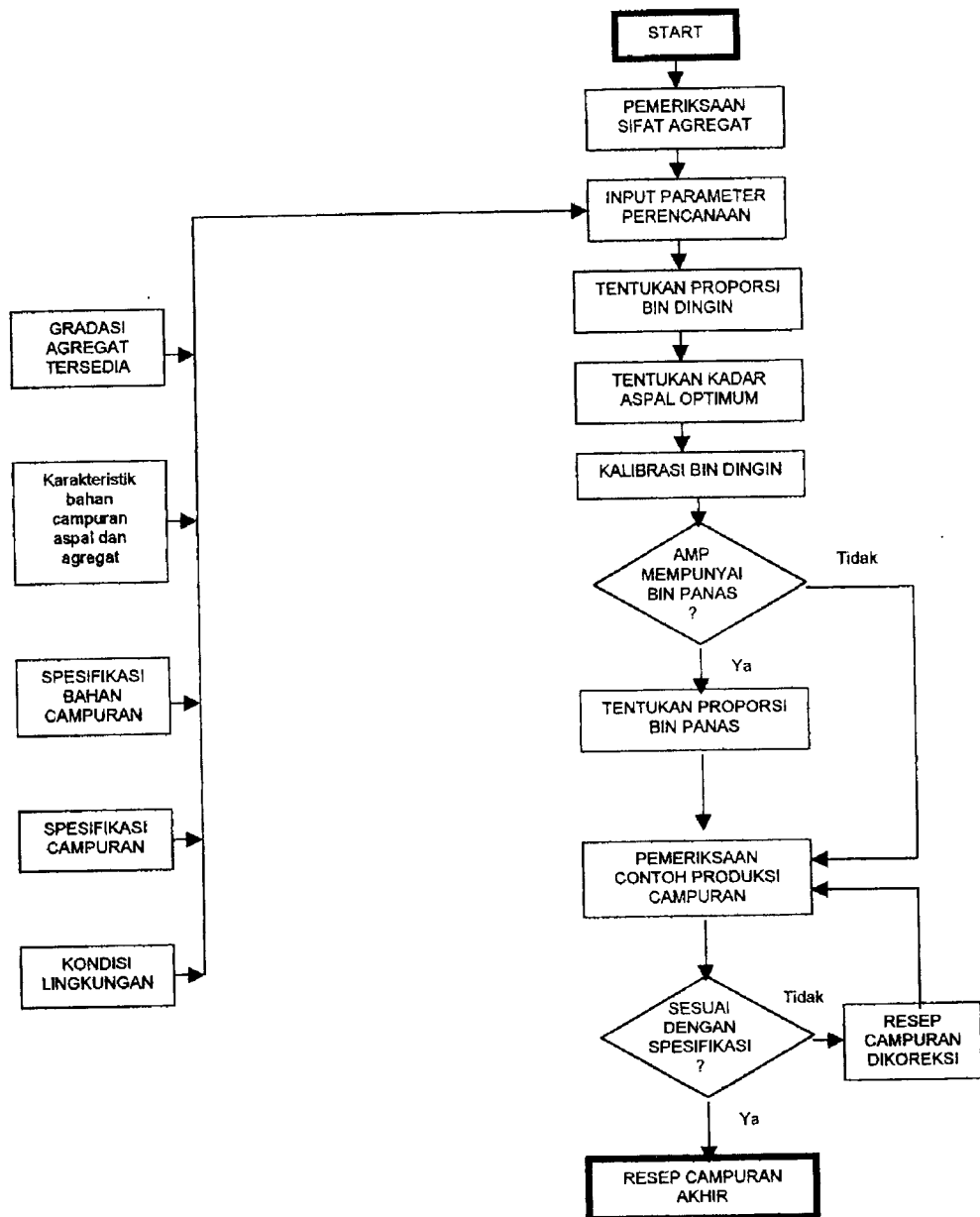
dimana :

P: Persen material lolos saringan X dari kombinasi agregat A, B, C dan D.

A,B,C,D: Persen material lolos saringan X untuk agregat A, B, C dan D.

a,b,c,d: Proporsi agregat A,B,C,D dalam campuran  $a+b+c+d = 1$ .

Kadar aspal optimum ditentukan dengan melakukan Marshall Test di laboratorium dari beberapa sampel dengan variasi kadar aspal berbeda namun gradasi agregat tetap. Kadar aspal optimum adalah kadar aspal yang menghasilkan sifat campuran terbaik pada hasil pemeriksaan Marshall Test (lihat lampiran - Gambar 6.6).



**Gambar 6.4.** Bagan Alir Perencanaan Campuran Asphalt Institute

## Perbedaan Metode Bina Marga dengan Asphalt Institute

**Tabel 6.3.** Perbedaan Mendasar antara Metode Bina Marga dengan Asphalt Institute

No.	Metode Bina Marga	Metode Asphalt Institute
1.	Kriteria dasar rongga udara	Kriteria dasar stabilitas
2.	Langkah pertama menentukan kadar aspal efektif sesuai spesifikasi dari jenis lapisan perkerasan yang direncanakan	Langkah pertama perencanaan campuran adalah merencanakan proporsi penakaran sehingga diperoleh gradasi agregat campuran yang memenuhi spesifikasi.
3.	Kadar aspal lebih tinggi, film aspal lebih tebal, sehingga durabilitas lebih tinggi.	Kadar aspal rendah, film aspal lebih tipis, retak-retak mudah terjadi.
4.	Baik untuk volume lalu lintas rendah sampai tinggi dengan beban ringan (terutama untuk kendaraan penumpang).	Baik untuk volume lalu lintas tinggi dengan beban berat (banyak kendaraan berat)
5.	Stabilitas berasal dari ikatan antar butir-butir halus dan agregat kasar dengan aspal.	Stabilitas berasal dari sifat saling kunci (interlocking) antar agregat.

### 6.4. PERMASALAHAN YANG DAPAT MEMPENGARUHI KUALITAS DARI ASPAL BETON CAMPURAN PANAS

Kualitas aspal beton dipengaruhi oleh banyak faktor yang dapat berasal dari bahan mentah, pabrik pencampur, proses pencampuran, proses penghamparan, proses pemadatan, sampai kepada proses pemeliharaan pasca pemadatan. Hal ini dapat terjadi walaupun mutu dari bahan mentah memenuhi persyaratan. Oleh karena itu perlulah pengendalian mutu yang saksama sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan yang diharapkan.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas aspal beton antara lain :

1. Penimbunan agregat, yang dapat menyebabkan terjadinya segregasi dan degradasi serta kontaminasi, jika tidak mengikuti proses yang benar.
2. Over heating (temperatur pemanasan terlalu tinggi) baik untuk agregat maupun untuk aspal.
3. Under heating (temperatur pemanasan terlalu rendah) baik untuk agregat maupun untuk aspal.

4. Campuran rencana yang tidak tepat.
5. Agregat yang basah, karena penyimpanan yang tidak benar.
6. Komponen pabrik pencampur mengalami kerusakan yang tidak diketahui.
7. Pengaturan masing-masing komponen tidak memenuhi persyaratan yang diminta.
8. Penimbangan yang tidak baik/terkontrol baik.
9. Pemuatan ke truck pengangkut yang kurang baik sehingga terjadi segregasi.
10. Penghamparan yang kurang baik sehingga terjadi segregasi.
11. Tebal penghamparan yang terlalu tebal.
12. Alat pemadatan dan proses pemadatan yang tidak baik.
13. Temperatur penghamparan dan pemadatan yang tidak baik.
14. Kondisi lokasi jalan sebelum penghamparan tidak memenuhi persyaratan.
15. Jangka waktu dari proses pemadatan sampai jalan dibuka untuk lalu lintas umum terlalu cepat.

#### **6.5. PEMADATAN ASPAL BETON**

Campuran aspal beton panas dari AMP diangkut dengan menggunakan truck pengangkut yang ditutupi terpal, dibawa ke lokasi dan dihampar sesuai dengan persyaratan yang ditentukan dan harus segera dipadatkan dengan temperatur dibawah  $125^{\circ}\text{C}$  dan harus sudah selesai pada temperatur di atas  $80^{\circ}\text{C}$ . Pemadatan dilakukan dalam tiga tahap yang berurutan yaitu :

1. Pemadatan awal (breakdown rolling).  
Pemadatan awal berfungsi untuk mendudukkan material pada posisinya dan sekaligus memadatkannya. Alat yang digunakan adalah mesin gilas roda baja (steel roller) dengan tekanan roda antara 400 - 600 kg/0,1 m lebar roda.
2. Pemadatan antara/kedua (secondary rolling).  
Pemadatan antara merupakan pemadatan seperti pemadatan akibat beban lalu lintas. Alat yang digunakan adalah mesin gilas roda karet (tire roller) dengan tekanan roda 8,5 kg/cm<sup>2</sup>.
3. Pemadatan akhir (finishing rolling).  
Pemadatan akhir dilakukan untuk menghilangkan jejak-jejak roda ban. Penggilasan dilakukan pada temperatur di atas titik lembek aspal.

#### **6.6. PEMERIKSAAN HASIL PEMADATAN**

Hasil pemadatan yang berupa pengecekan terhadap kepadatan lapangan, tebal lapisan perkerasan yang terjadi dilakukan dengan mengambil contoh di lapangan dengan alat core drill. Dari hasil pemeriksaan contoh tersebut dapat diperoleh data mengenai berat volume, tebal lapisan setelah dipadatkan, kadar aspal, gradasi campuran dan kepadatan lapangan.

Kadar aspal dan gradasi campuran diperoleh sebagai hasil pemeriksaan ekstraksi menurut prosedur pemeriksaan AASHTO T 164 - 80, pemeriksaan kepadatan campuran di lapangan mengikuti prosedur AASHTO T 166 & T 230.



### **6.7. PEMERIKSAAN SIFAT CAMPURAN**

Sifat campuran yang dihasilkan AMP perlu diperiksa sebagai salah satu proses pengendalian mutu produksi. Pemeriksaan dilakukan dengan alat Marshall dari sampel yang dibuat dari campuran hasil produksi AMP yang bersangkutan.

Pemeriksaan gradasi, kadar aspal, juga dilakukan untuk memeriksa apakah gradasi campuran yang diperoleh memenuhi spesifikasi atautkah tidak.

# **Bab 7 Perancangan Tebal Lapis Ulang (Overlay)**

## **7.1. PENDAHULUAN**

Konstruksi jalan yang telah habis masa pelayanannya, telah mencapai indeks permukaan akhir yang diharapkan perlu diberikan lapis ulang untuk dapat kembali mempunyai nilai kekuatan, tingkat kenyamanan, tingkat keamanan, tingkat kedekatan terhadap air, dan tingkat kecepatan mengalirkan air. Sebelum perencanaan tebal lapis ulang dapat terlaksana perlu dilakukan terlebih dahulu survey kondisi permukaan dan permukaan kelayakan struktural konstruksi perkerasan.

### **7.1.1. Survey Kondisi Permukaan**

Survey ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan (rideability) permukaan jalan saat ini. Survey dapat dilakukan secara visual ataupun dengan bantuan alat mekanis. Survey secara visual meliputi :

- Penilaian kondisi lapisan permukaan dikelompokkan menjadi : baik, kritis, atau rusak.
- Penilaian kenyamanan berkendara dikelompokkan menjadi: nyaman, kurang nyaman, dan tidak nyaman.
- Penilaian tingkat kerusakan yang terjadi secara kualitas dan kuantitas. Penilaian dilakukan terhadap kerusakan jalan meliputi retak (creking), lubang (pot hole), alur (rutting), pelepasan butir (ravelling), pengelupasan lapis ulang (stripping), keriting (corrugation), ambblas (depression), jembul (upheavel), bleeding, dan sungkur (shoving).

Survey dengan bantuan alat yaitu dengan menggunakan alat “roughometer” yang ditempelkan pada sumbu belakang roda kendaraan penguji. Prinsip dasar alat ini adalah mengukur jumlah gerakan vertikal sumbu pada kendaraan tertentu.

### **7.1.2. Survey Kelayakan Struktural Konstruksi Perkerasan**

Kelayakan struktural konstruksi perkerasan dapat ditentukan dengan dua cara yaitu secara destruktif dan secara non destruktif. Pemeriksaan destruktif yaitu pemeriksaan dengan cara membuat “test pit” pada perkerasan jalan lama, mengambil sampel ataupun mengadakan

pemeriksaan dengan cara ini kurang begitu disukai karena mengakibatkan kerusakan kondisi perkerasan jalan lama.

Sedangkan pemeriksaan secara non destruktif yaitu suatu cara dengan mempergunakan alat yang diletakkan di atas permukaan jalan sehingga tidak mengakibatkan rusaknya konstruksi perkerasan jalan. Alat yang umum dipergunakan di Indonesia saat ini adalah alat Benkelman Beam.

Pada perancangan tebal lapis ulang ini, berdasarkan lendutan balik (rebound deflection) dihitung tebal lapis ulang dan umur sisa perkerasan dengan menentukan letak titik pemeriksaan sesuai Gambar 7.3 (lihat lampiran).

Untuk tujuan instruksional umum, diharapkan mahasiswa mampu mengetahui bilamana overlay dipergunakan serta untuk tujuan instruksional khusus, diharapkan mahasiswa dapat menghitung tebal lapis ulang dan umur sisa berdasarkan lendutan balik.

## 7.2 PERHITUNGAN TEBAL LAPIS ULANG DENGAN CARA LENDUTAN BALIK

Setelah data-data lendutan balik diperoleh maka tahap selanjutnya adalah menghitung tebal lapis ulang (overlay) yang dibutuhkan sesuai dengan umur jalan yang direncanakan. Untuk menghitung tebal lapis ulang yang dibutuhkan dengan cara lendutan balik ini dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- Mencari data-data lalu lintas yang diperlukan pada jalan yang bersangkutan antara lain:
  - a. Lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median, dan untuk masing-masing arah pada jalan dengan median.
  - b. Jumlah lalu lintas rencana (Design Traffic Number) ditentukan atas dasar jumlah jalur dan jenis kendaraan.

**Tabel 7.1.** Prosentase kendaraan yang lewat pada jalur rencana :

Type Jalan	Kendaraan Ringan *		Kendaraan Berat **	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 jalur	100	100	100	100
2 jalur	60	50	70	50
3 jalur	40	40	50	47,5
4 jalur	-	30	-	45
6 jalur	-	20	-	40

\* misalnya : mobil penumpang, pick-up, mobil hantaran

\*\* misalnya : bus, truck, traktor, trailler

Pada jalan-jalan khusus, misalnya jalan bebas hambatan, tipe jalan 2 x 2 jalur dengan ketentuan kendaraan lebih banyak menggunakan jalur kiri, maka prosentase kendaraan yang lewat tidak diambil 50 seperti tabel prosentase kendaraan yang lewat pada jalur rencana (Tabel 7.1), tetapi diambil antara 50 - 100 dari LHR satu arah, tergantung banyaknya kendaraan yang menggunakan lajur kiri tersebut.

- Dengan menggunakan lampiran daftar 7.1, menghitung besarnya jumlah ekivalen harian rata-rata dari satuan 8,16 ton (18 kip - 18.000 lbs) beban as tunggal, dengan cara menjumlahkan hasil perkalian masing-masing jenis lalu lintas harian rata-rata tersebut, baik kosong maupun bermuatan dengan faktor ekivalen yang sesuai (faktor ekivalen kosong atau isi).
- Menggunakan umur rencana dan perkembangan lalu lintas (daftar 7.2 - lampiran).
- Menentukan jumlah lalu lintas secara akumulatif selama umur rencana dengan rumus sebagai berikut :

$$AE\ 18\ KSAL - 365 \times N \times \sum \frac{\text{Mobil penumpang}}{DTN \times UE\ 18\ KSAL} \text{Traktor - Triller}$$

Keterangan :

AE 18 KSAL - Accumulative Equivalent 18 Kip Single Axle Load

UE 18 KSAL - Unit Ekivalen 18 Kip Single Axle Load

365 - Jumlah hari dalam satu tahun

N - Faktor umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas.

DTN - Design Traffic Number (jumlah lalu lintas rencana)

- Berdasarkan hasil AE 18 KSAL dari grafik hubungan antara lendutan balik yang diizinkan akan diperoleh lendutan balik yang diizinkan (grafik 7.1 dan 7.1a).
- Berdasarkan lendutan balik yang ada (sebelum diberi lapisan tambahan) dan grafik 7.2 dapat ditentukan tebal lapis tambahan yang nilai lendutan baliknya tidak boleh melebihi lendutan balik yang ditentukan.
- Lapisan tambahan tersebut adalah aspal beton (faktor konversi balik-daftar 7.3 - lampiran) yang dapat diganti lapis tambahan lain dengan menggunakan faktor konversi relatif konstruksi perkerasan.
- Untuk penggunaan kurva adalah sebagai berikut :  
Kurva kritis ( $y - 5,5942x e^{-2769 \log x}$ ) dipakai pada jalan-jalan yang mempunyai lapis bukan aspal beton (AC). Sedangkan Kurva failure ( $y - 8,6685x e^{-0,2769 \log x}$ ) dipakai pada jalan-jalan yang mempunyai permukaan aspal beton (fleksibilitas rendah dan kedap air).

### 7.3. PERHITUNGAN UMUR SISA PERKERASAN BERDASARKAN LENDUTAN BALIK

Berdasarkan lendutan balik yang ada (sebelum diberi lapis ulang) dan grafik hubungan antara lendutan balik yang diizinkan dengan garais lendutan kritis/failure akan diperoleh AE 18 KSAL yang diizinkan (Grafik 7.1 dan 7.1a).

Menentukan faktor umur rencana dengan rumus :

$$N = \frac{\text{AE 18 KSAL}}{365 \times \sum \frac{\text{Mobil penumpang}}{\text{Traktor - Triller}} \times \text{DTN} \times \text{UE 18 KSAL}}$$

Keterangan :

N - Faktor umur rencana

AE 18 KSAL - Accumulative Equivalent 18 Kip Single Axle Load

UE 18 KSAL - Unit Ekivalen 18 Kip Single Axle Load

365 - Jumlah hari dalam satu tahun

DTN - Design Traffic Number (Jumlah Lalulintas Rencana)

Menentukan umur sisa (sisa pelayanan) jalan dengan rumus :

$$n = \frac{\log (2N + 2 / R = 1) - \log (2 / R + 1)}{\log (R + 1 +)}$$

Keterangan :

n - umur sisa jalan (tahun)

N - faktor umur rencana (%)

R - perkembangan lalulintas.

#### Contoh Soal :

Dari hasil pengukuran lendutan balik dengan menggunakan alat Bengkelman Beam pada jalan 2 arah, 2 jalur diperoleh lendutan balik sebesar 2,5 cm. Rencanakan :

1. Tebal lapis ulang yang diperlukan
2. Hitung umur sisa dari jalan tersebut.

Data-data lalulintas :

Mobil penumpang = 1000 kendaraan/hari

Bus = 750 kendaraan/hari

Truck (1,2L)	= 500 kendaraan /hari
Truck (1.2H)	= 450 kendaraan/hari
Truck(1.22)	= 430 kendaraan/hari

Data-data lain :

Umur rencana 10 tahun

Lapisan permukaan adalah Asphalt Beton (AC)

Perkembangan lalulintas 8 %

### Penyelesaian :

Berdasarkan data-data di atas, hitung Design Traffic Number (CTN) dengan menggunakan tabel "Prosentase kendaraan yang lewat pada jalur rencana".

Mobil penumpang= 50 % x 1000 = 500 kendaraan/hari

Bus = 50 % x 750 = 375 kendaraan/hari

Truck (1.2L) = 50 % x 500 = 250 kendaraan/hari

Truck (1.2H) = 50 % x 450 = 225 kendaraan/hari

Truck (1.22) = 50 % x 430 = 215 kendaraan/hari

Dengan menggunakan daftar 1 hitung besarnya jumlah ekivalen harian rata-rata dari satuan 8,16 ton beban as tunggal (DTN x Ue 18 KSAL)

Mobil penumpang	= 500 x 0,0004	= 0,2
Bus	= 375 x 0,3006	= 112,725
Truck (1.2L)	= 250 x 0,2174	= 54,35
Truck (1.2H)	= 225 x 5,0264	= 1130,94
Truck (1.22)	= 215 x 2,7416	= 589,444

---

JUMLAH = 1887,659

Menentukan faktor umur rencana (N)

Umur rencana = 10 tahun

Perkembangan lalulintas 8 %

Dari daftar 3 diperoleh N = 15,05

Tentukan AE 18 KSAL dengan rumus :

$$AE\ 18\ KSAL = \sum \frac{DTN \times UE\ 18\ KSAL}{Traktor - Triller}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AE 18 KSAL} &= 365 \times 15,05 \times 1887,659 \\
 &= 10369382,8 \\
 &= 1,04 \times 10^7
 \end{aligned}$$

Lapisan permukaan yang dipakai adalah beton aspal maka dipakai grafik 7.1a didapat lendutan balik izin = 1,6 cm. Berdasarkan lendutan balik yang ada (sebelum diberi lapisan ulang) dengan menggunakan grafik 7.2 didapat tebal lapis ulang (overlay) = 5,5 cm.

### Menentukan Umur Sisa Jalan (n)

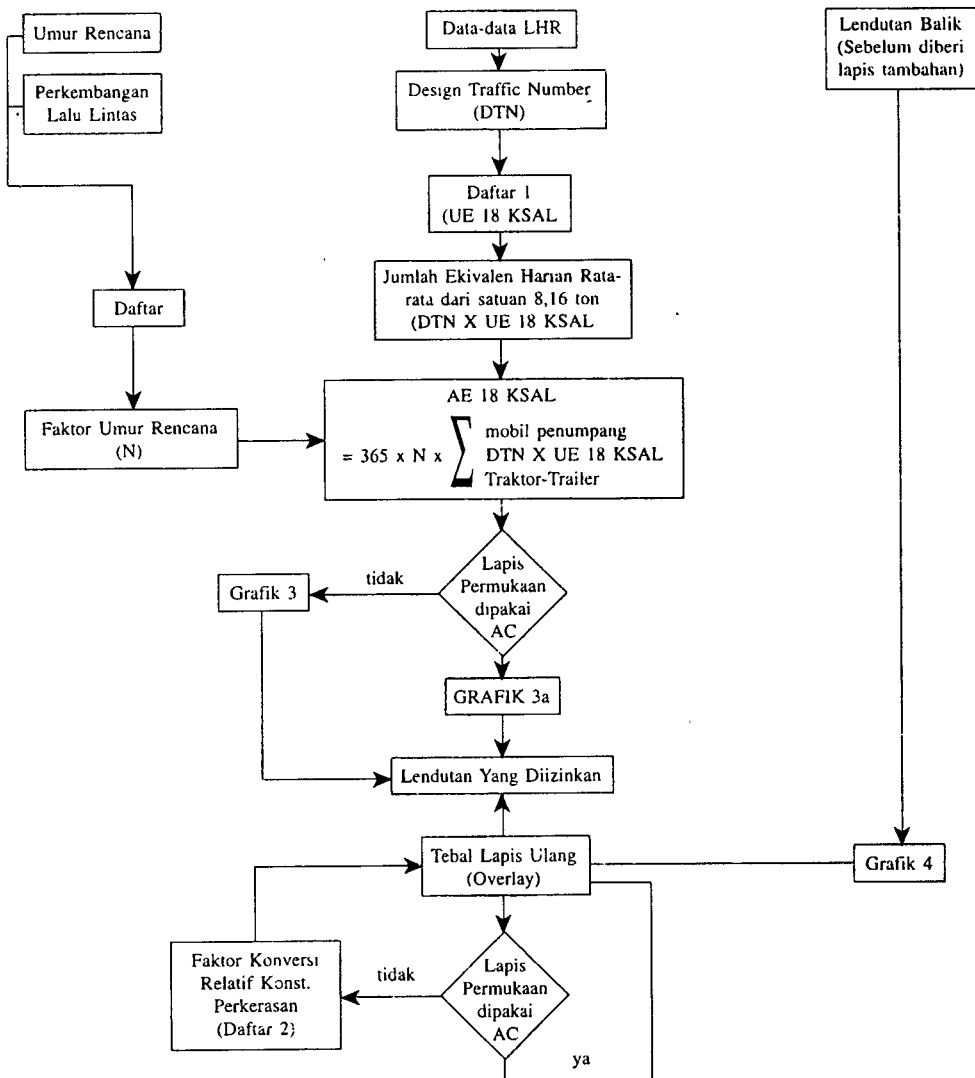
Berdasarkan lendutan baik yang ada (sebelum diberi overlay) pada grafik 3a didapat AE 18 KSAL yang diizinkan yaitu  $3,3 \cdot 10^5$

Menentukan faktor Umur rencana (N)

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\text{AE 18 KSAL}_{\text{izin}}}{365 \times \text{DTN} \times \text{UE 18 KSAL}} \\
 &= \frac{3,3 \cdot 10^5}{365 \times 1887,659} \\
 &= 0,48.
 \end{aligned}$$

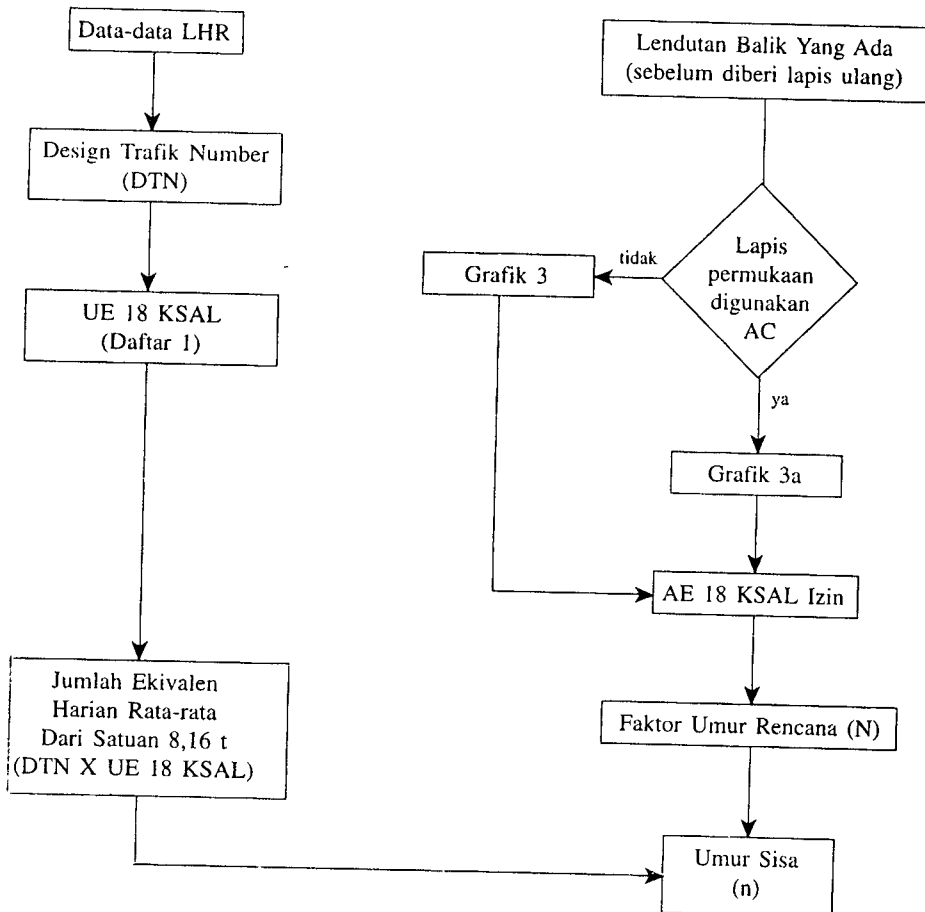
Menentukan umur sisa (sisa pelayanan) (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\log (2N = 2 / R + 1) - \log 92 / R=1}{365 \times \text{DTN} \times \text{UE 18 KSAL}} \\
 &= \frac{\log (2 \times 0,48) + (2/8+1) - \log (2/8+1)}{\log (8+1)} \\
 &= 0,26 \text{ tahun} \\
 &= 95 \text{ hari.}
 \end{aligned}$$



**Gambar 7.1.** Bagan Alir (Flow Chart) Perencanaan Tebal Lapis Ulang (Overlay) Cara Lendutan Balik dengan Alat Benkelman Beam.





**Gambar 7.2.** Bagan Alir (Flow Chart) Menentukan Umur Sisa Perkerasan Berdasarkan Lendutan Balik dengan Alat Benkelman Beam.

## **Bab 8 Kerusakan–Kerusakan Permukaan Jalan Dan Pemeliharannya**

Penanganan konstruksi perkerasan apakah itu bersifat pemeliharaan, penunjang, peningkatan, ataupun rehabilitasi dapat dilakukan dengan baik setelah kerusakan-kerusakan yang timbul pada perkerasan tersebut dievaluasi mengenai penyebab dan akibat mengenai kerusakan tersebut. Besarnya pengaruh suatu kerusakan dan langkah penanganan selanjutnya sangat tergantung dari evaluasi yang dilakukan oleh sipengamat, oleh karena itu sipengamat haruslah orang yang benar-benar menguasai jenis dan sebab serta tingkat penanganan yang dibutuhkan dari kerusakan-kerusakan yang timbul.

Kerusakan pada perkerasan konstruksi jalan dapat disebabkan oleh :

1. Lalulintas yang dapat berupa peningkatan beban dan repetisi beban.
2. Air yang dapat berasal dari air hujan, sistem drainase jalan yang tidak baik, naiknya air dengan sifat kapilaritas.
3. Material konstruksi perkerasan. Dalam hal ini dapat disebabkan oleh sifat material itu sendiri atau dapat pula disebabkan oleh sistem pengolahan yang tidak baik.
4. Iklim. Indonesia beriklim tropis, dimana suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi, yang dapat merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan.
5. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil. Kemungkinan disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik, atau dapat juga disebabkan oleh sifat tanah dasar yang memang jelek.
6. Proses pemadatan di atas lapisan tanah dasar yang kurang baik.

Umumnya kerusakan-kerusakan yang timbul itu tidak disebabkan oleh satu faktor saja, tetapi dapat merupakan gabungan dari penyebab yang saling kait-mengait. Sebagai contoh adalah retak pinggir, pada awalnya dapat diakibatkan oleh tidak baiknya sokongan dari samping. Dengan terjadinya retak pinggir, memungkinkan air meresap masuk ke lapis di bawahnya yang melemahkan ikatan antara aspal dengan agregat, hal ini dapat menimbulkan lubang-lubang disamping melemahkan daya dukung lapisan di bawahnya.

Dalam mengevaluasi kerusakan jalan perlu ditentukan :

- Jenis kerusakan (*distress type*) dan penyebabnya.
- Tingkat kerusakan (*distress severity*)

- Jumlah kerusakan (*distress amount*)  
Sehingga dengan demikian dapat ditentukan jenis penanganan yang paling sesuai.

### 8.1. JENIS KERUSAKAN PADA PERKERASAN LENTUR

Menurut Manual Pemeliharaan Jalan No : 03/MN/B/1983 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, kerusakan jalan dapat dibedakan atas :

1. Retak (*cracking*)
2. Distorsi (*distortion*)
3. Cacat permukaan (*disintegration*)
4. Pengausan (*polished aggregate*)
5. Kegemukan (*bleeding or flushing*)
6. Penurunan pada bekas penanaman utilitas (*utility cut depression*)

#### 8.1.1. Retak (*cracking*) dan penyebabnya

Retak yang terjadi pada lapisan permukaan jalan dapat dibedakan atas :

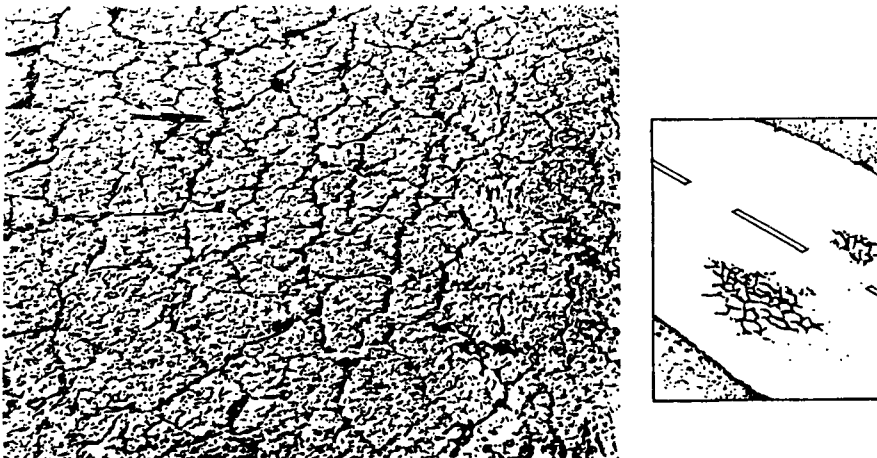
1. **Retak halus (*hair cracking*)**, lebar celah lebih kecil atau sama dengan 3 mm, penyebab adalah bahan perkerasan yang kurang baik, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil. Retak halus ini dapat meresapkan air ke dalam lapis permukaan. Untuk pemeliharaan dapat dipergunakan lapis latasir, atau buras. Dalam tahap perbaikan sebaiknya dilengkapi dengan perbaikan sistem drainase. Retak rambut dapat berkembang menjadi retak kulit buaya.



**Gambar 8.1.** Retak halus (*hair cracking*)

2. **Retak kulit buaya (*alligator cracks*)**, lebar celah lebih besar atau sama dengan 3 mm. Saling merangkai membentuk serangkaian kotak-kotak kecil yang menyerupai kulit buaya. Retak ini disebabkan oleh bahan perkerasan yang kurang baik, pelapukan permukaan, tanah dasar atau bagian perkerasan di bawah lapis permukaan kurang stabil, atau bahan lapis pondasi dalam keadaan jenuh air (air tanah baik).

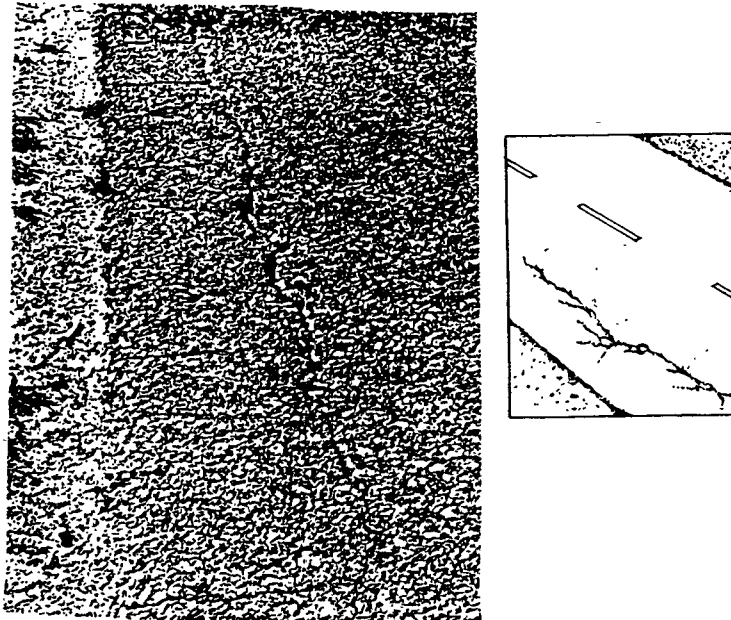
Umumnya daerah dimana terjadi retak kulit buaya tidak luas. Jika daerah dimana terjadi retak kulit buaya luas, mungkin hal ini disebabkan oleh repetisi beban lalu lintas yang melampaui beban yang dapat dipikul oleh lapisan permukaan tersebut. Retak kulit buaya untuk sementara dapat dipelihara dengan mempergunakan lapis burda, burtu, ataupun lataston, jika celah  $\leq 3$  mm. Sebaiknya bagian perkerasan yang telah mengalami retak kulit buaya akibat air yang merembes masuk ke lapis pondasi dan tanah dasar diperbaiki dengan cara dibongkar dan membuang bagian-bagian yang basah, kemudian dilapis kembali dengan bahan yang sesuai. Perbaikan harus disertai dengan perbaikan drainase di sekitarnya. Kerusakan yang disebabkan oleh beban lalu lintas harus diperbaiki dengan memberi lapis tambahan. Retak kulit buaya dapat diresapi oleh air sehingga lama kelamaan akan menimbulkan lubang-lubang akibat terlepasnya butir-butir.



**Gambar 8.2.** Retak kulit buaya (*alligator cracking*)

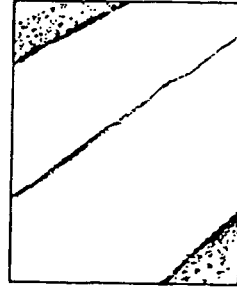
3. **Retak pinggir (*edge cracks*)**, retak memanjang jalan dengan atau tanpa cabang yang mengarah ke bahu jalan dan terletak dekat bahu. Retak ini disebabkan oleh tidak baiknya sokongan dari arah samping, drainase kurang baik, terjadinya penyusutan tanah, atau terjadinya *settlement* di bawah daerah tersebut. Akar tanaman yang tumbuh di tepi perkerasan dapat pula menjadi sebab terjadinya retak pinggir ini. Di lokasi retak, air dapat meresap yang dapat semakin merusak lapis permukaan.

Retak dapat diperbaiki dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Perbaikan drainase harus dilakukan, bahu jalan diperlebar dan dipadatkan. Jika pinggir perkerasan mengalami penurunan, elevasi dapat diperbaiki dengan mempergunakan hotmix. Retak ini lama kelamaan akan bertambah besar disertai dengan terjadinya lubang-lubang.



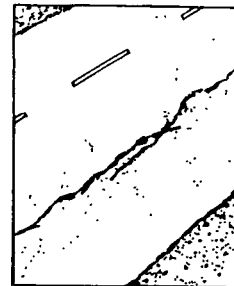
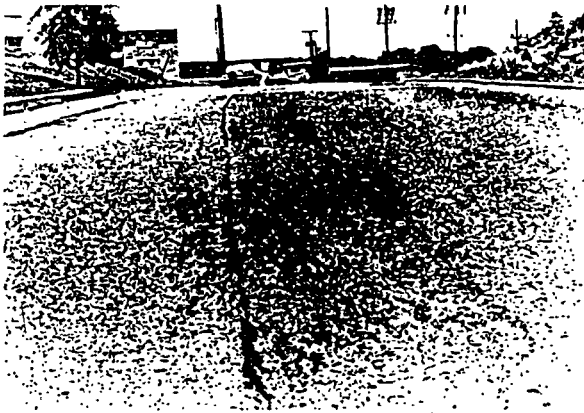
**Gambar 8.3.** Retak pinggir (*edge crack*)

4. **Retak sambungan bahu dan perkerasan (*edge joint cracks*)**, retak memanjang yang umumnya terjadi pada sambungan bahu dengan perkerasan. Retak dapat disebabkan dengan kondisi drainase di bawah bahu jalan lebih buruk dari pada di bawah perkerasan, terjadinya *settlement* di bahu jalan, penyusutan material bahu atau perkerasan jalan, atau akibat lintasan truck/kendaraan berat di bahu jalan. Perbaikan dapat dilakukan seperti perbaikan retak refleksi.
5. **Retak sambungan jalan (*lane joint cracks*)**, retak memanjang yang terjadi pada sambungan 2 lajur lalu lintas. Hal ini disebabkan tidak baiknya ikatan sambungan kedua lajur. Perbaikan dapat dilakukan dengan memasukkan campuran aspal cair dan pasir ke dalam celah-celah yang terjadi. Jika tidak diperbaiki, retak dapat berkembang menjadi lebar karena terlepasnya butir-butir pada tepi retak dan meresapnya air ke dalam lapisan.



**Gambar 8.4.** Retak sambungan jalan (lane joint cracks)

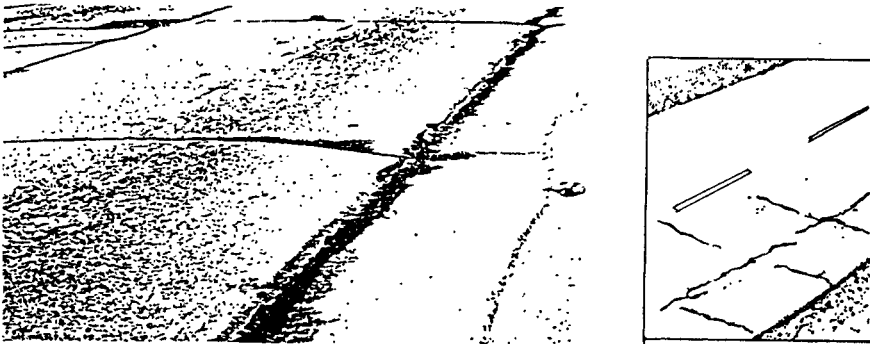
6. **Retak sambungan pelebaran jalan (*widening cracks*)**, adalah retak memanjang yang terjadi pada sambungan antara perkerasan lama dengan perkerasan pelebaran. Hal ini disebabkan oleh perbedaan daya dukung di bawah bagian pelebaran dan bagian jalan lama, dapat juga disebabkan oleh ikatan antara sambungan yang tidak baik. Perbaikan dilakukan dengan mengisi celah-celah yang timbul dengan campuran aspal cair dengan pasir. Jika tidak diperbaiki, air dapat meresap masuk ke dalam lapisan perkerasan melalui celah-celah, butir-butir dapat lepas dan retak bertambah besar.



**Gambar 8.5.** Retak sambungan pelebaran jalan (*widening cracks*)

7. **Retak refleksi (*reflection cracks*)**, retak memanjang, melintang, diagonal, atau membentuk kotak. Terjadi pada lapis tambahan (*overlay*) yang menggambarkan pola retakan di bawahnya. Retak refleksi dapat terjadi jika retak pada perkerasan lama tidak diperbaiki secara baik sebelum pekerjaan *overlay* dilakukan. Retak refleksi dapat pula terjadi jika gerakan vertikal/horizental di bawah lapis tambahan sebagai akibat perubahan kadar air pada jenis tanah yang ekspansif.

Untuk retak memanjang, melintang, dan digonal perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir. Untuk retak berbentuk kotak perbaikan dilakukan dengan membongkar dan melapis kembali dengan bahan yang sesuai.



**Gambar 8.6.** Retak refleksi (*reflection cracks*)

8. **Retak susut (*shrinkage cracks*)**, retak yang saling bersambungan membentuk kotak-kotak besar dengan sudut tajam. Retak disebabkan oleh perubahan volume pada lapisan permukaan yang memakai aspal dengan penetrasi rendah, atau perubahan volume pada lapisan pondasi dan tanah dasar. Perbaikan dapat dilakukan dengan mengisi celah dengan campuran aspal cair dan pasir dan melapisi dengan burtu.



**Gambar 8.7.** Retak susut (*shrinkage cracks*)

9. **Retak selip (*slippage cracks*)**, retak yang bentuknya melengkung seperti bulan sabit. Hal ini terjadi disebabkan oleh kurang baiknya ikatan antara lapis permukaan dengan lapis di bawahnya. Kurang baiknya ikatan dapat disebabkan oleh adanya debu, minyak, air, atau benda non-adhesif lainnya, atau akibat tidak diberinya *tack coat* sebagai bahan pengikat di antara kedua lapisan. Retak selip pun dapat terjadi akibat terlalu banyaknya pasir dalam campuran lapisan permukaan, atau kurang baiknya pemadatan lapis permukaan. Perbaikan dapat dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan menggantikannya dengan lapisan yang lebih baik.



**Gambar 8.8.** Retak selip (*slippage cracks*)

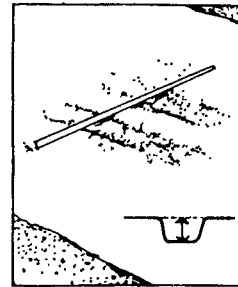
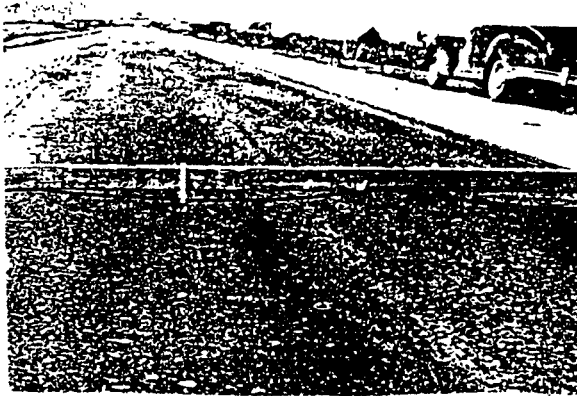
### 8.1.2. Distorsi (*Distortion*)

Distorsi/perubahan bentuk dapat terjadi akibat lemahnya tanah dasar, pemadatan yang kurang pada lapis pondasi, sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Sebelum perbaikan dilakukan sewajarnya lah ditentukan terlebih dahulu jenis dan penyebab distorsi yang terjadi. Dengan demikian dapat ditentukan jenis penanganan yang cepat.

Distorsi (*distortion*) dapat dibedakan atas :

1. **Alur (*ruts*)**, yang terjadi pada lintasan roda sejajar dengan as jalan. Alur dapat merupakan tempat menggenangnya air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan, mengurangi tingkat kenyamanan, dan akhirnya dapat timbul retak-retak. Terjadinya alur disebabkan oleh lapis perkerasan yang kurang padat, dengan demikian terjadi tambahan pemadatan akibat repetisi beban lalu lintas pada lintasan roda. Campuran aspal dengan stabilitas rendah dapat pula menimbulkan *deformasi plastis*. Perbaikan dapat dilakukan dengan memberi lapisan tambahan dari lapis permukaan yang sesuai.





**Gambar 8.9.** Alur (*ruts*)

2. **Keriting (*corrugation*)**, alur yang terjadi melintang jalan. Dengan timbulnya lapisan permukaan yang keriting ini pengemudi akan merasakan ketidaknyamanan mengemudi. Penyebab kerusakan ini adalah rendahnya stabilitas campuran yang berasal dari terlalu tingginya kadar aspal, terlalu banyak mempergunakan agregat halus, agregat berbentuk bulat dan berpermukaan penetrasi yang tinggi. Keriting dapat juga terjadi jika lalu lintas dibuka sebelum perkerasan mantap (untuk perkerasan yang mempergunakan aspal cair). Kerusakan dapat diperbaiki dengan :

- Jika lapis permukaan yang berkeriting itu mempunyai lapis pondasi agregat, perbaikan yang tepat adalah dengan menggaruk kembali, dicampur dengan lapis pondasi, dipadatkan kembali dan diberi lapis permukaan baru.
- Jika lapis permukaan bahan pengikat mempunyai ketebalan  $> 5$  cm, maka lapis tipis yang mengalami keriting tersebut diangkat dan diberi lapis permukaan yang baru.



**Gambar 8.10.** Keriting (*corrugation*)

3. **Sungkur (*shoving*)**, deformasi plastis yang terjadi setempat, di tempat kendaraan sering berhenti, kelandaian curam, dan tikungan tajam. Kerusakan dapat terjadi dengan/tanpa

retak. Penyebab kerusakan sama dengan kerusakan keriting. Perbaikan dapat dilakukan dengan cara dibongkar dan dilapis kembali (lihat retak kulit buaya).



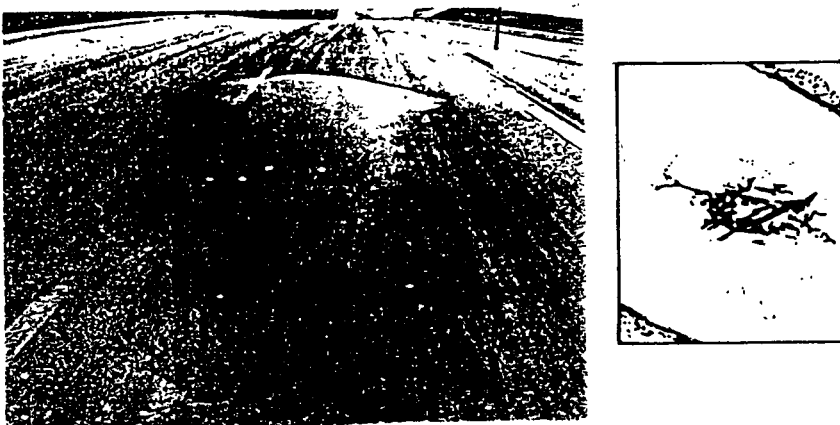
**Gambar 8.11.** Sungkur (*shoving*)

4. **Amblas (*grade depressions*)**, terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Amblas dapat terdeteksi dengan adanya air yang tergenang. Air tergenang ini dapat meresap ke dalam lapisan perkerasan yang akhirnya menimbulkan lubang.

Penyebab amblas adalah beban kendaraan yang melebihi apa yang direncanakan, pelaksanaan yang kurang baik, atau penurunan bagian perkerasan dikarenakan tanah dasar mengalami *settlement*.

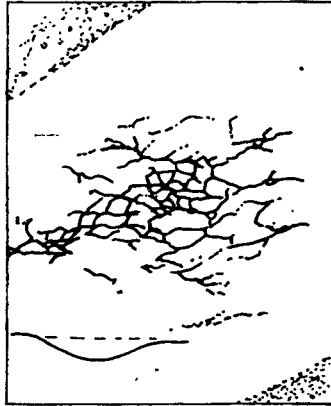
Perbaikan dapat dilakukan dengan :

- Untuk amblas yang  $\leq 5$  cm, bagian yang rendah diisi dengan bahan sesuai seperti lapen, laston, laston.
- Untuk amblas yang  $\geq 5$  cm, bagian yang amblas dibongkar dan lapis kembali dengan lapis yang sesuai.



**Gambar 8.12.** Amblas (*grade depression*)

5. **Jembul (*upheaval*)**, terjadi setempat, dengan atau tanpa retak. Hal ini terjadi akibat adanya pengembangan tanah dasar pada tanah dasar ekspansif. Perbaikan dilakukan dengan membongkar bagian yang rusak dan melapisinya kembali.

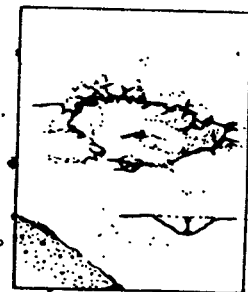


**Gambar 8.13.** Jembul (*upheaval*)

**8.1.3. Cacat permukaan (*disintegration*), yang mengarah kepada kerusakan secara kimiawi dan mekanis dari lapisan perkerasan.**

Yang termasuk dalam cacat permukaan ini adalah :

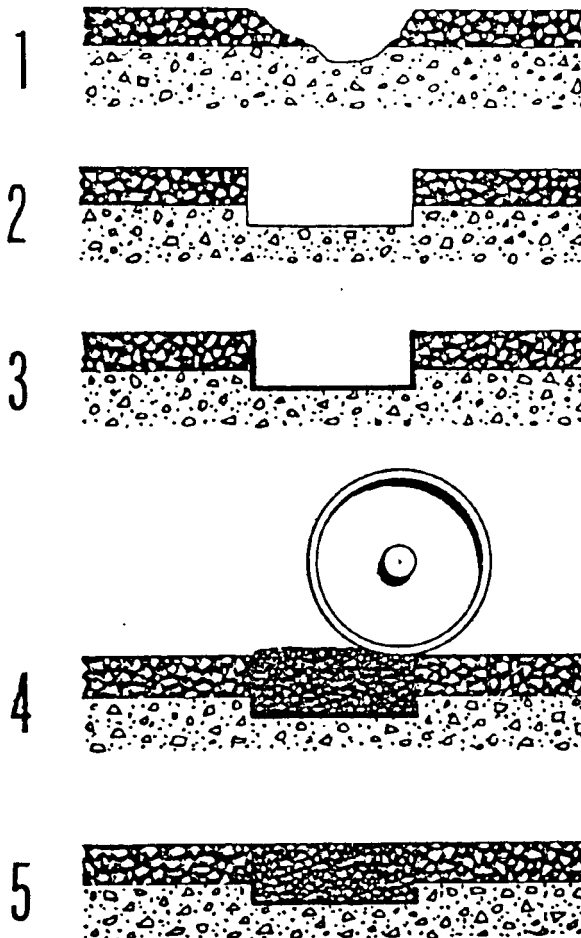
1. **Lubang (*potholes*)**, berupa mangkuk, ukuran bervariasi dari kecil sampai besar. Lubang-lubang ini menampung dan meresapkan air ke dalam lapis permukaan yang menyebabkan semakin parahnya kerusakan jalan.



**Gambar 8.14.** Lubang (*potholes*)

Lubang dapat terjadi akibat :

- a. campuran material lapis permukaan jelek, seperti :
  - Kadar aspal rendah, sehingga film aspal tipis dan mudah lepas.
  - Agregat kotor sehingga ikatan antara aspal dan agregat tidak baik.
  - Temperatur campuran tidak memenuhi persyaratan.
- b. Lapis permukaan tipis sehingga ikatan aspal dan agregat mudah lepas akibat pengaruh cuaca.
- c. Sistem drainase jelek, sehingga air banyak yang meresap dan mengumpul dalam lapis perkerasan.
- d. Retak-retak yang terjadi tidak segera ditangani sehingga air meresap dan mengakibatkan terjadinya lubang-lubang kecil.



**Gambar 8.15.** Perbaikan lubang yang bersifat permanen

Lubang-lubang tersebut diperbaiki dengan cara dibongkar dan dilapis kembali. Perbaikan yang bersifat permanen disebut juga *deep patch* (tambalan dalam), yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Bersihkan lubang dari air dan material-material yang lepas.
  - b. Bongkar bagian lapis permukaan dan pondasi sedalam-dalamnya sehingga mencapai lapisan yang kokoh (potong dalam bentuk ynag persegi panjang).
  - c. Beri lapis *tack coat* sebagai lapis pengikat.
  - d. Isikan campuran aspal dengan hati-hati sehingga tidak terjadi segregasi.
  - e. Padatkan lapis campuran dan bentuk permukaan sesuai dengan lingkungannya.
2. **Pelepasan butir (*ravelling*)**, dapat terjadi secara meluas dan mempunyai efek serta disebabkan oleh hal yang sama dengan lubang. Dapat diperbaiki dengan memberikan lapisan tambahan di atas lapisan yang mengalami pelepasan butir setelah lapisan tersebut dibersihkan, dan dikeringkan.



**Gambar 8.16.** Pelepasan butir (*ravelling*)

3. **Pengelupasan lapisan permukaan (*stripping*)**, dapat disebabkan oleh kurangnya ikatan antara lapis permukaan dan lapis di bawahnya, atau terlalu tipisnya lapis permukaan. Dapat diperbaiki dengan cara digaruk, diratakan, dan dipadatkan. Setelah itu dilapisi dengan buras.

#### **8.1.4. Pengausan (*Polished Aggregate*)**

Permukaan jalan menjadi licin, sehingga membahayakan kendaraan. Pengausan terjadi karena agregat berasal dari material yang tidak tahan aus terhadap roda kendaraan, atau agregat yang dipergunakan berbentuk bulat dan licin, tidak berbentuk *cubical*. Dapat diatasi dengan menutup lapisan dengan latasir, buras, atau latasbun.

### 8.1.5. Kegemukan (*bleeding or flushing*)

Permukaan menjadi licin. Pada temperatur tinggi, aspal menjadi lunak dan akan terjadi jejak roda. Berbahanya bagi kendaraan. Kegemukan (*bleeding*) dapat disebabkan pemakaian kadar aspal yang tinggi pada campuran aspal, pemakaian terlalu banyak aspal pada pekerjaan *prime coat* atau *tack coat*. Dapat diatasi dengan menaburkan agregat panas dan kemudian dipadatkan, atau lapis aspal diangkat dan kemudian diberi lapisan penutup.

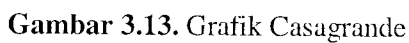
### 8.1.6. Penurunan Pada Bekas Penanaman Utilitas (*utility cut depression*)

Terjadi di sepanjang bekas penanaman utilitas. Hal ini terjadi karena pemadatan yang tidak memenuhi syarat. Dapat diperbaiki dengan dibongkar kembali dan diganti dengan lapis yang sesuai.

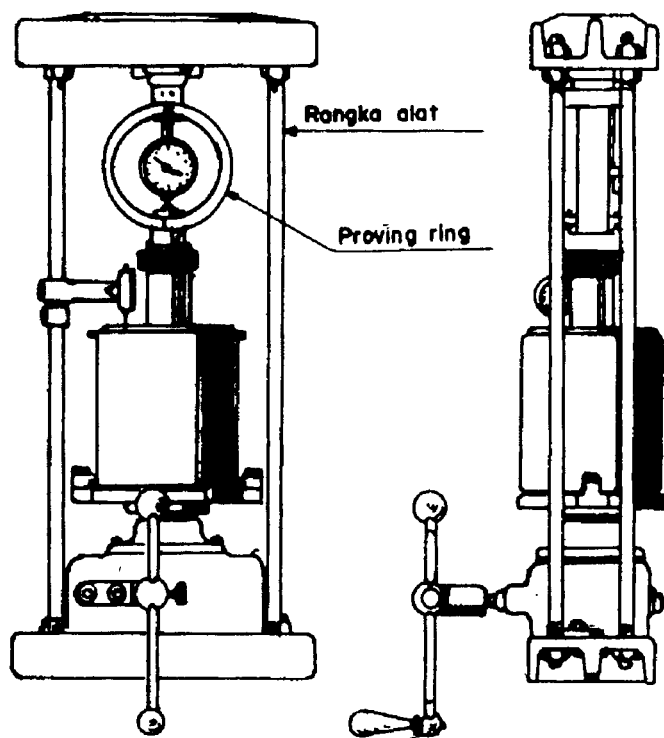


**Gambar 8.17.** Penurunan pada bekas penanaman utilitas

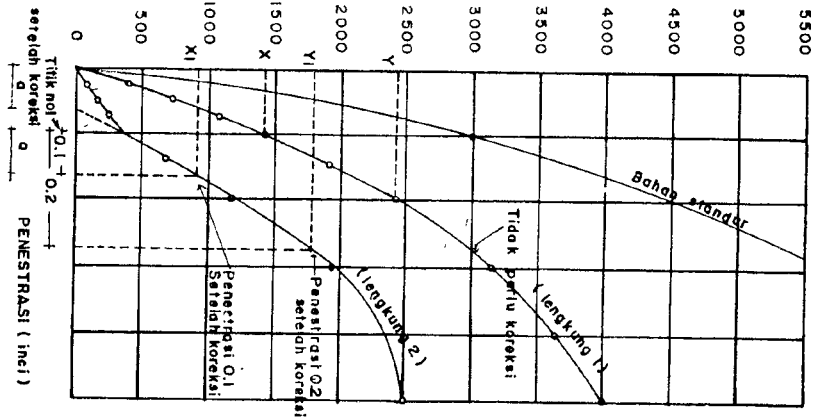
# Lampiran



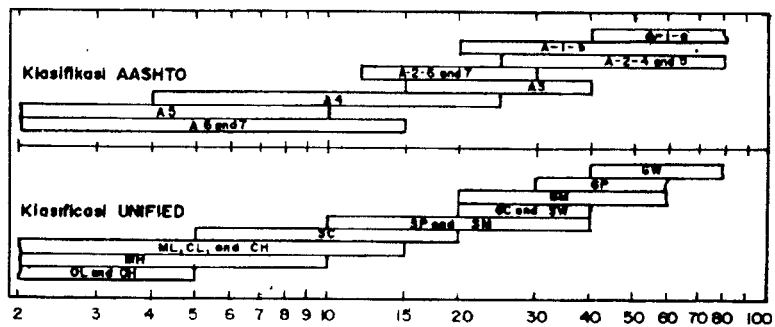




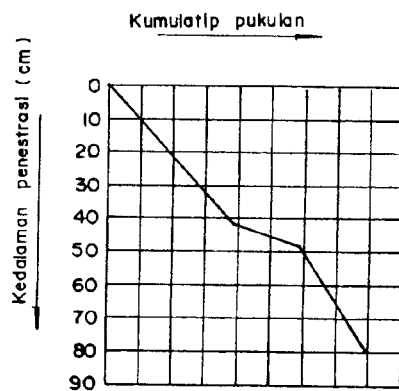
**Gambar 3.15.** Alat Pemeriksaan CBR di Laboratorium



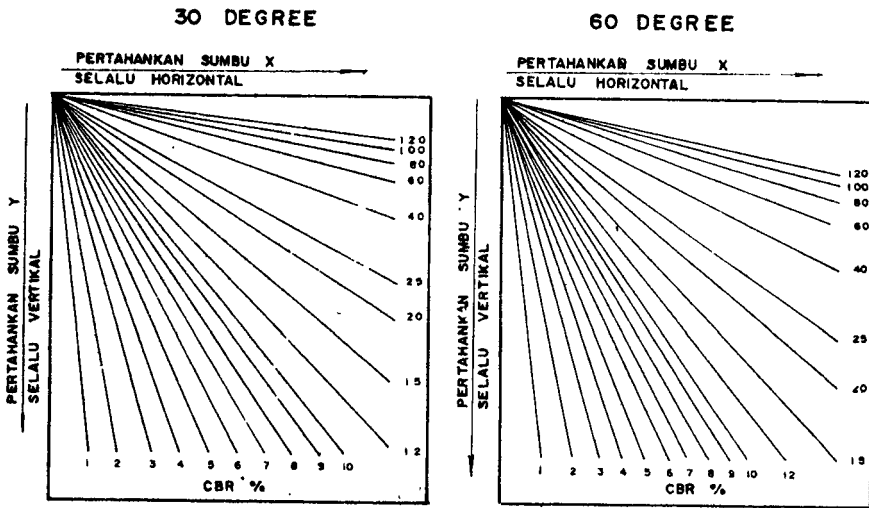
Gambar 3.16. Grafik Hubungan antara Beban dan Penetrasi pada Pemeriksaan CBR



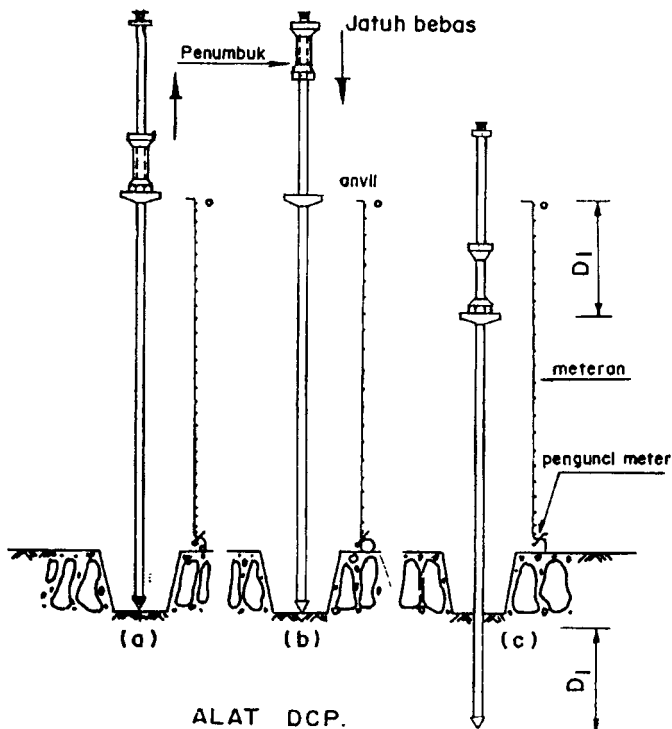
Gambar 3.17. Perkiraan Nilai CBR Berdasarkan Klasifikasi Tanah



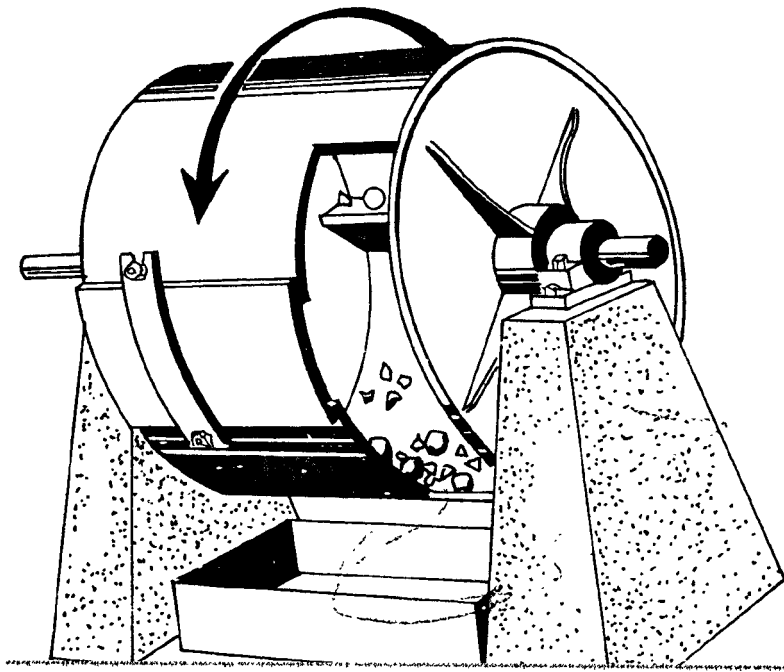
Gambar 3.18. Grafik Hasil Pemeriksaan DCP.



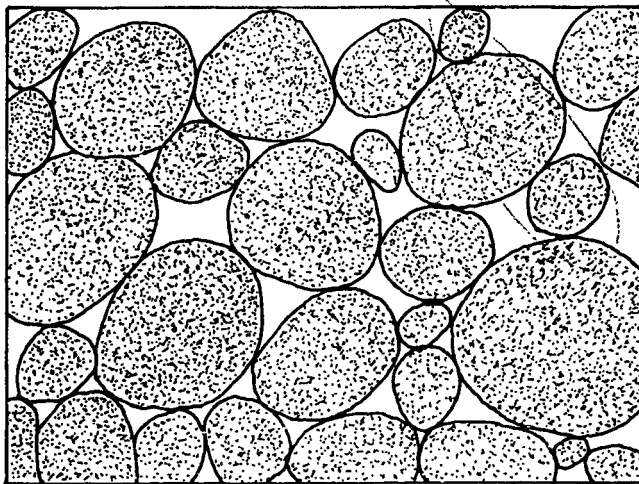
Gambar 3.19. Grafik Korelasi antara DCP dan CBR Lapangan



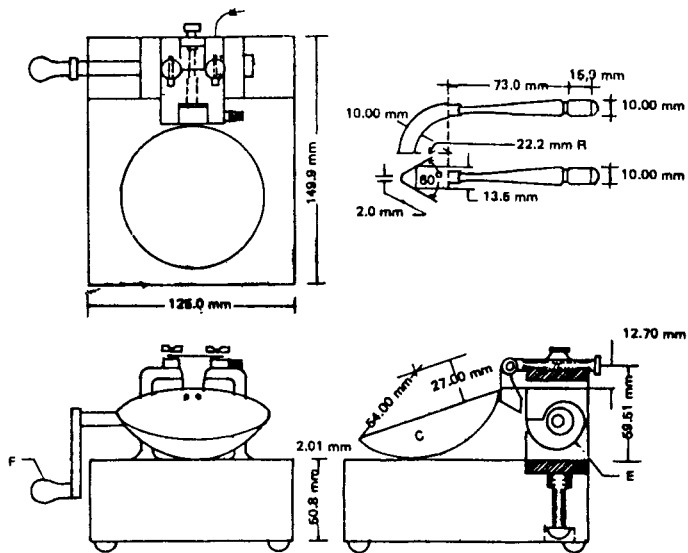
Gambar 3.20. Alat DCP (Dynamit Cone Penetrometer)



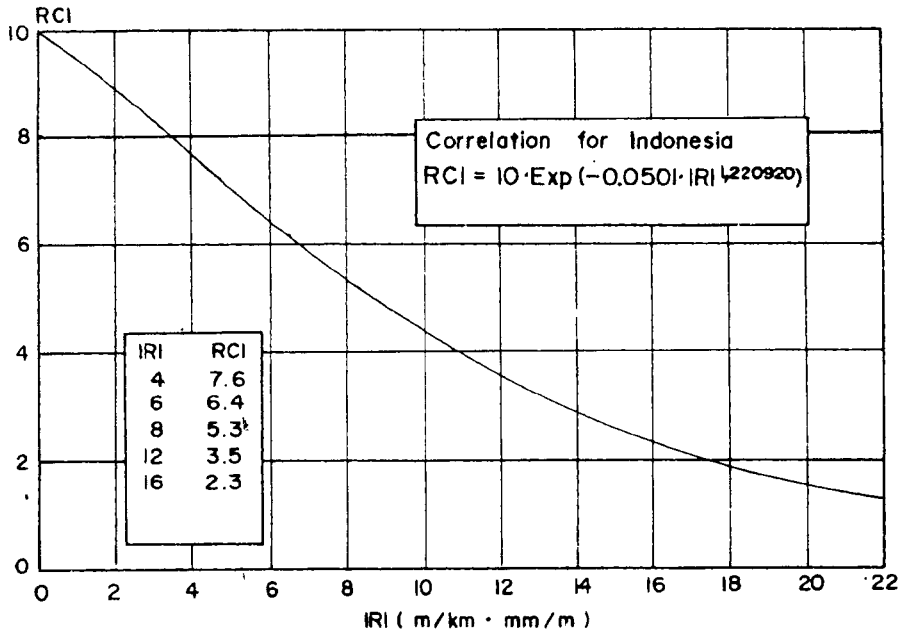
**Gambar 3.21.** Alat Percobaan Abrasi



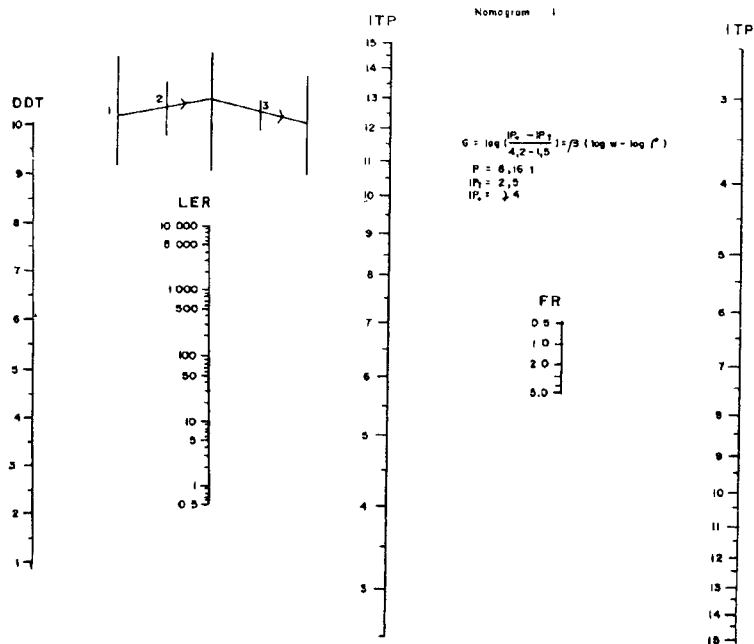
**Gambar 3.22.** Letak dan Susunan Partikel Agregat Berbentuk *Rounded*



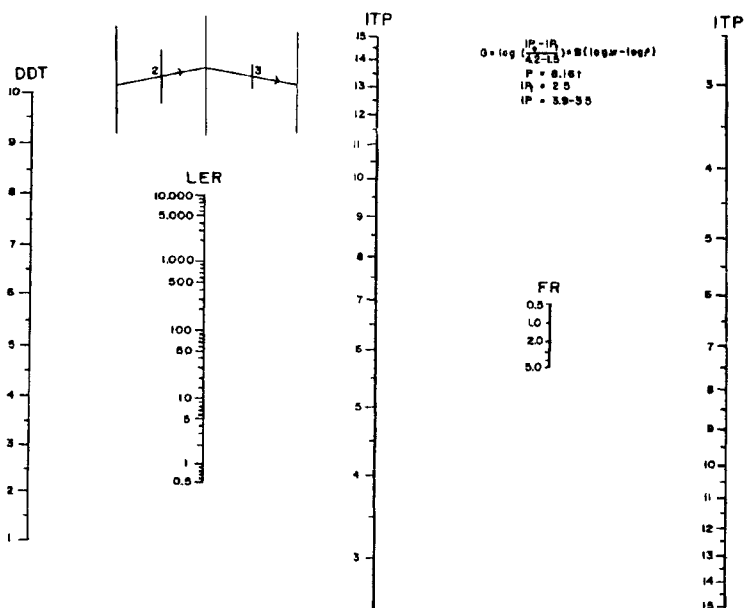
**Gambar 3.23.** Alat Pemeriksaan Batas Cair



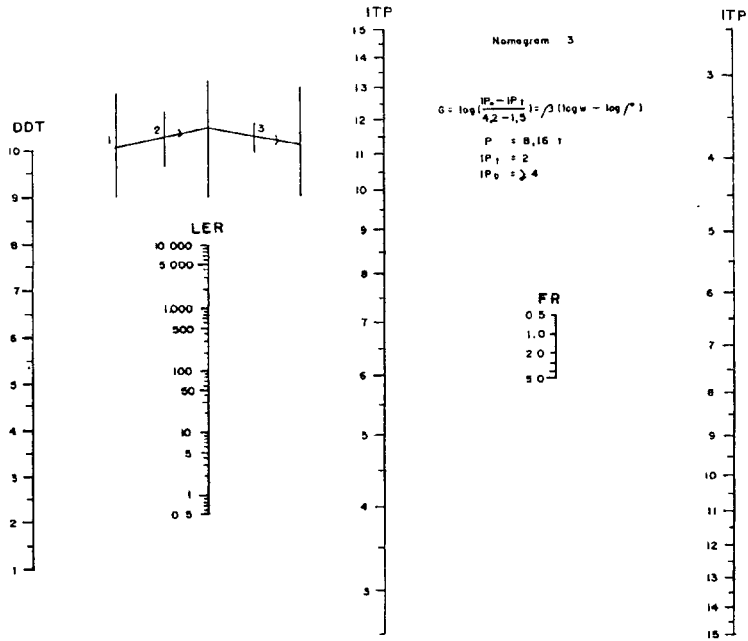
**Gambar 4.2.** Korelasi antara RCI dan IRI



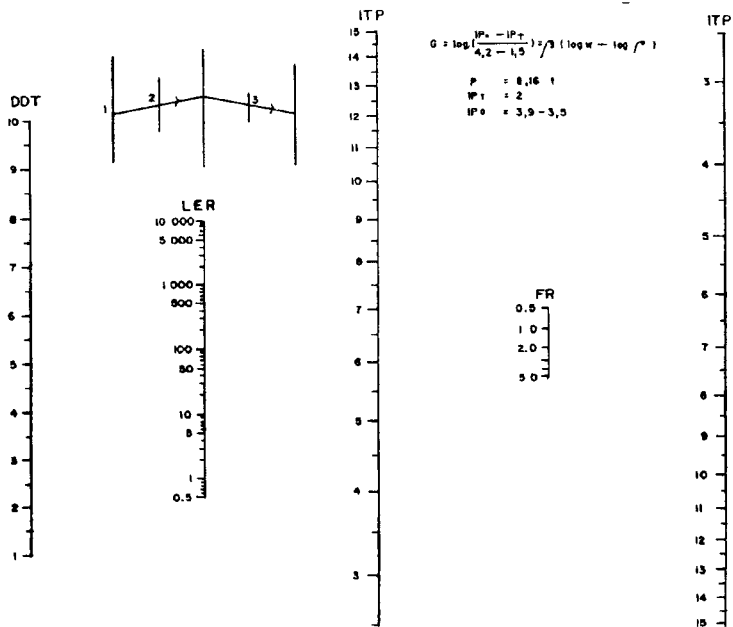
Gambar 5.7. Nomogram Untuk  $IP_t = 2.5$  dan  $IP_0 \Rightarrow 4$



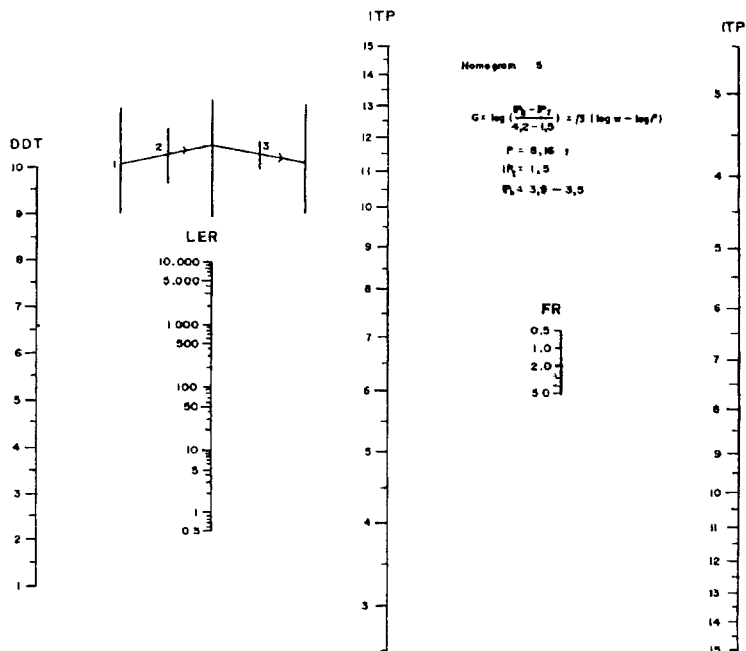
Gambar 5.8. Nomogram Untuk  $IP_t = 2.5$  dan  $IP_0 = 3.9 - 3.5$



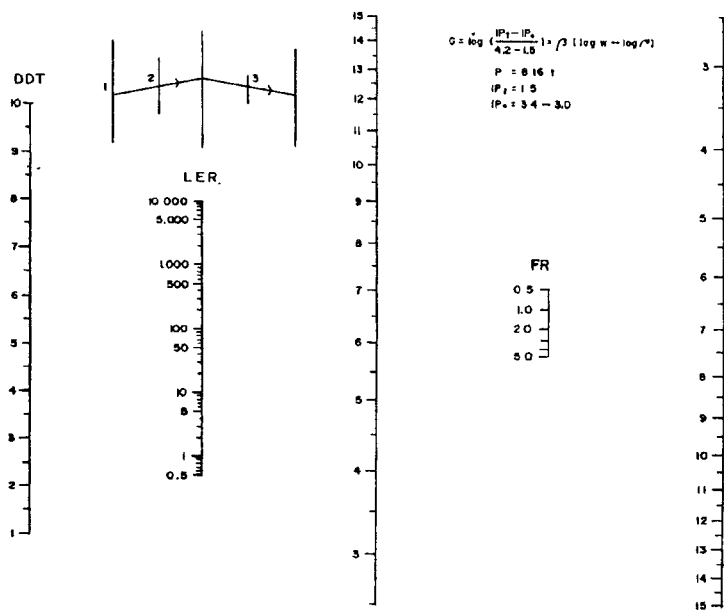
Gambar 5.9. Nomogram Untuk  $IP_1 = 2.0$  dan  $IP_0 = \Rightarrow 4$



Gambar 5.10. Nomogram Untuk  $IP_1 = 2.0$  dan  $IP_0 = 3.9 - 3.5$

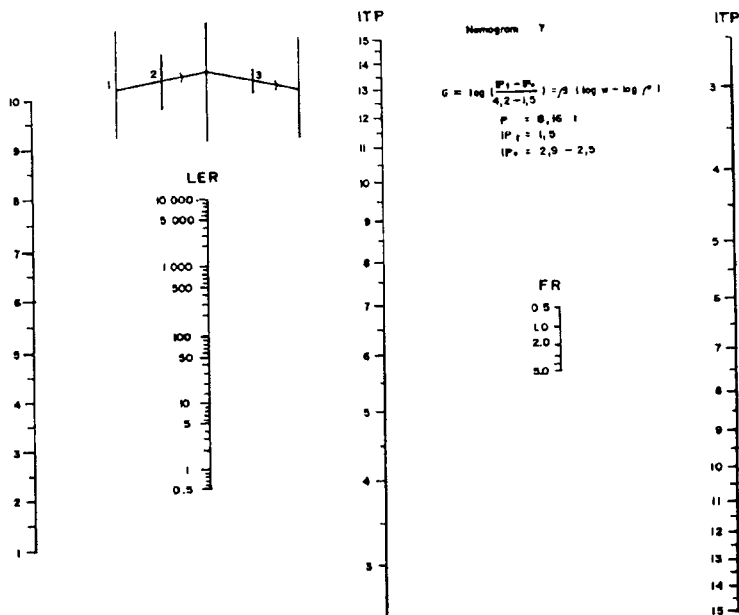


Gambar 5.11. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 3,9 - 3,5$

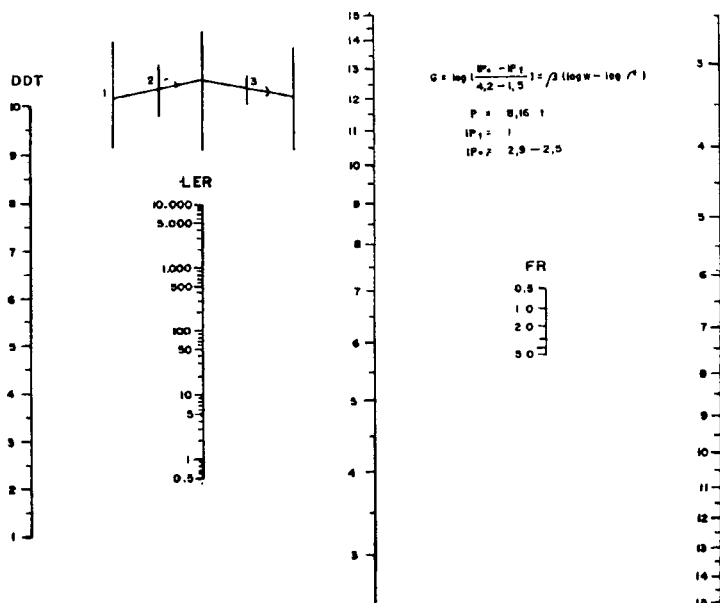


Gambar 5.12. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 3,4 - 3,0$

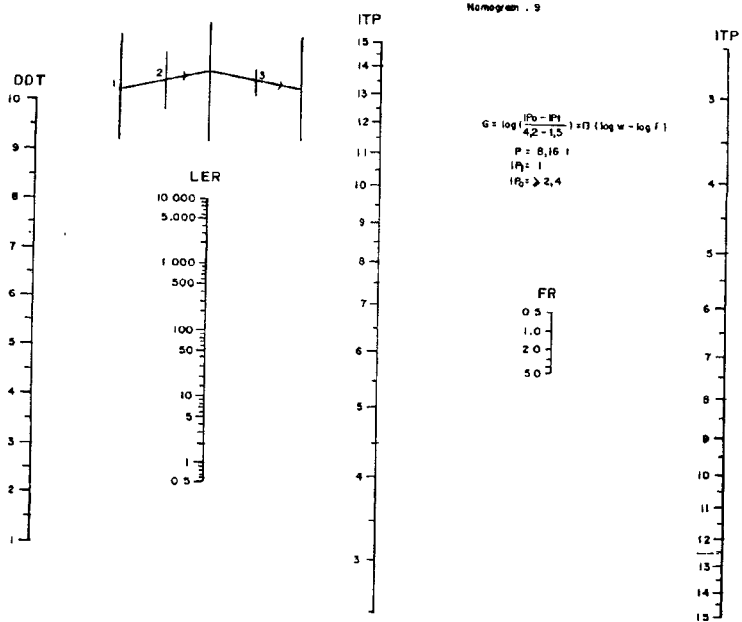




Gambar 5.13. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 2,9 - 2,5$



Gambar 5.14. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,0$  dan  $IP_0 = 2,9 - 2,5$



**Gambar 5.15.** Nomogram Untuk  $IP_t = 1,0$  dan  $IP_0 = << 2,4$

**Tabel 5.17.a.** Erosion Factors-Doweled Joint, No Concrete Shoulders (Single Axle/  
Tandem Axles)

Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

**Tabel 5.17.b.** Erosion Factors-Aggregate Interlock Joint, No Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

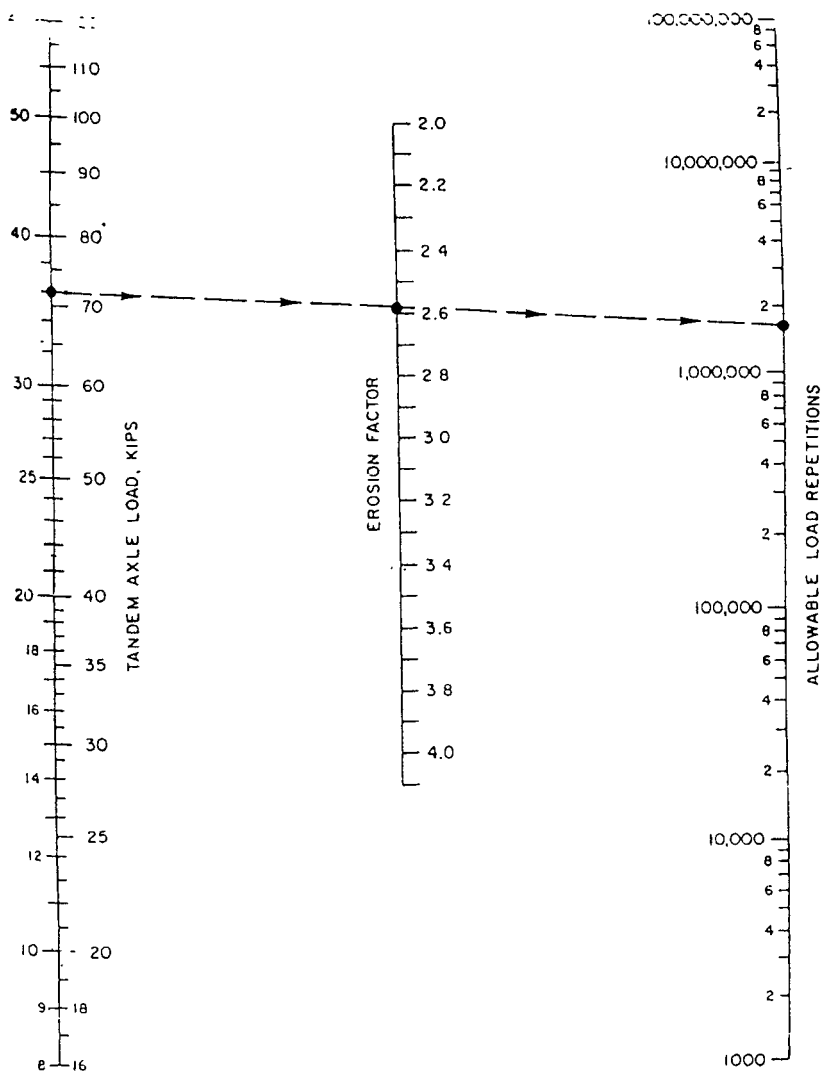
Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	2.75/2.86	2.73/2.81
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.67
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/	2.49/2.63
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	2.41/2.60	2.39/2.55
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.44

**Tabel 5.18.a.** Erosion Factors-Doweled Joint,  
Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

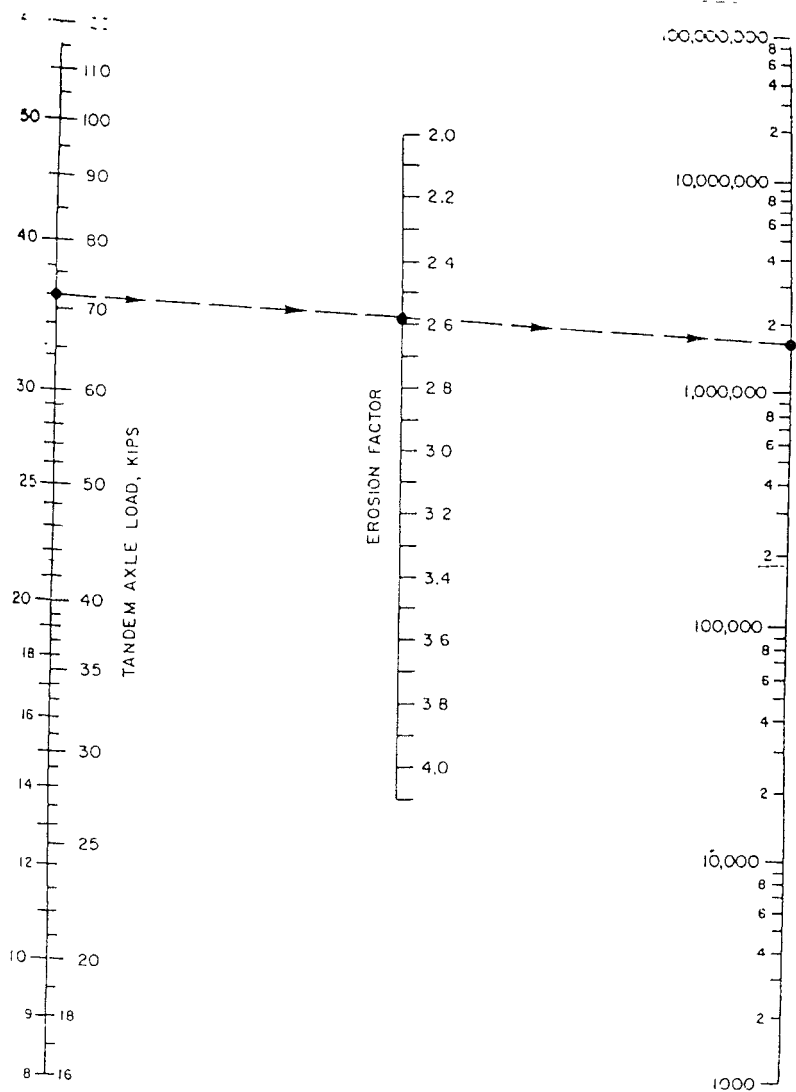
Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.28/3.30	3.24/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.08
4.5	3.13/3.19	3.09/3.08	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
5	3.01/3.09	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
5.5	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
6	2.79/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
6.5	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.58/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
7	2.61/2.79	2.56/2.68	2.52/2.56	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
7.5	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.14/2.44	2.38/2.36	2.35/2.31
8	2.46/2.68	2.41/2.56	2.36/2.44	2.33/2.38	2.30/2.30	2.27/2.24
8.5	2.39/2.62	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
9	2.32/2.57	2.27/2.46	2.22/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.13
9.5	2.26/2.52	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
10	2.20/2.47	2.15/2.36	2.10/2.25	2.07/2.18	2.03/2.09	2.01/2.03
10.5	2.15/2.43	2.09/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
11	2.10/2.39	2.04/2.28	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
11.5	2.05/2.35	1.99/2.24	1.93/2.12	1.09/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
12	2.00/2.31	1.94/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
12.5	1.95/2.27	1.89/2.16	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
13	1.91/2.23	1.85/1.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.80
13.5	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/1.98	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
14	1.82/2.17	1.76/2.06	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

**Tabel 5.18.b.** Erosion Factors-Aggregate Interlock Joints,  
Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.46/3.49	3.42/3.39	3.38/3.32	3.36/3.29	3.23/3.26	3.28/3.24
4.5	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	3.19/3.12	3.15/3.09
5	3.20/3.30	3.16/3.18	3.12/3.09	3.10/3.05	3.07/3.00	3.04/2.97
5.5	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	2.96/2.90	2.93/2.86
6	3.00/3.15	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	2.86/2.81	2.83/2.77
6.5	2.19/3.08	2.86/2.96	2.18/2.85	2.79/2.79	2.76/2.73	2.74/2.68
7	2.83/3.02	2.77/2.90	2.73/2.78	2.70/2.72	2.68/2.66	2.65/2.61
7.5	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	2.60/2.59	2.57/2.54
8	2.69/2.29	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	2.52/2.53	2.50/2.48
8.5	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.48/2.55	2.45/2.48	2.43/2.43
9	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	2.39/2.43	2.36/2.38
9.5	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	2.33/2.38	2.30/2.33
10	2.46/2.75	2.39/2.61	2.33/2.49	2.30/2.42	2.27/2.34	2.24/2.28
10.5	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.38	2.21/2.30	2.19/2.24
11	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	2.16/2.26	2.14/2.20
11.5	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.13	2.11/2.22	2.09/2.16
12	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	2.06/2.19	2.04/2.13
12.5	2.24/2.59	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	2.02/2.15	1.99/2.10
13	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	1.98/2.12	1.95/2.06
13.5	2.16/2.53	2.08/2.39	2.00/2.25	1.97/2.18	1.93/2.09	1.91/2.03
14	2.13/2.51	2.04/2.36	1.97/2.23	1.93/2.15	1.89/2.06	1.87/2.00

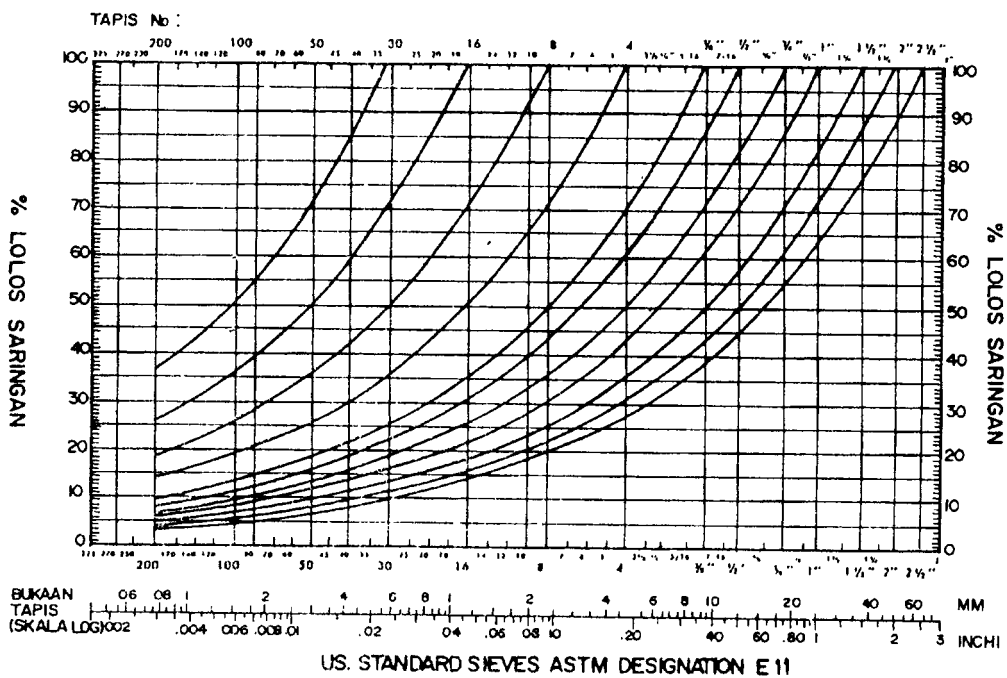


**Gambar 5.23.a.** Erosion Analysis Allowable Load Repetitions Based on Erosion Factors  
(Without Concrete Shoulder)

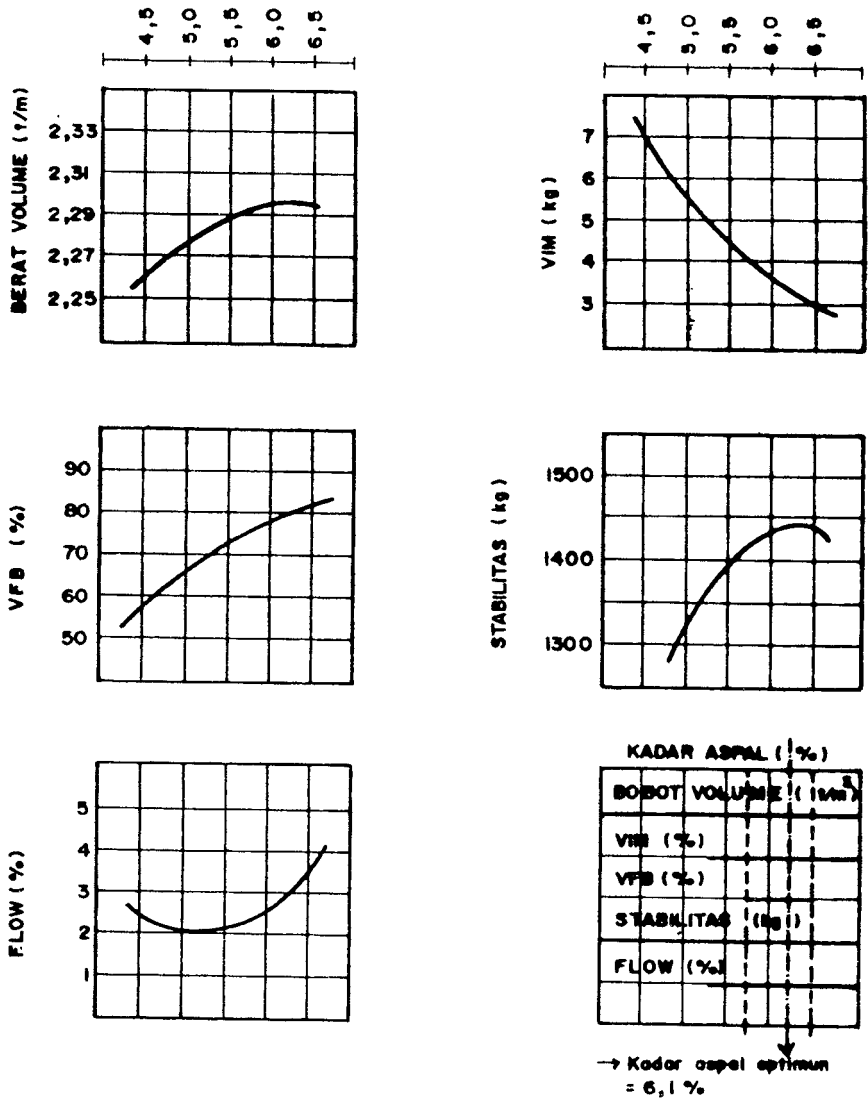


**Gambar 5.23.b.** Erosion Analysis Allowable Load Repetitions Based on Erosion Factors  
(Without Concrete Shoulder)

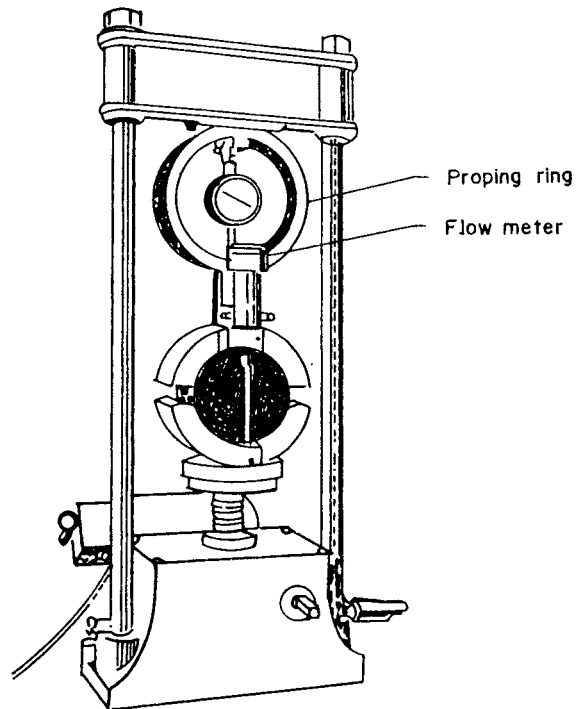




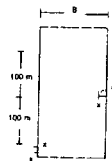

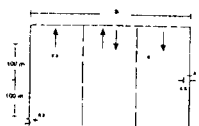
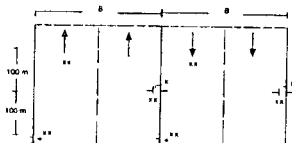
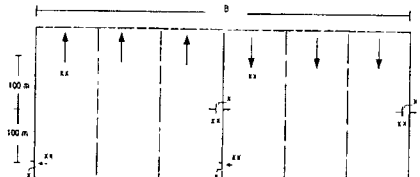
Gambar 6.5. Lengkung Fuller



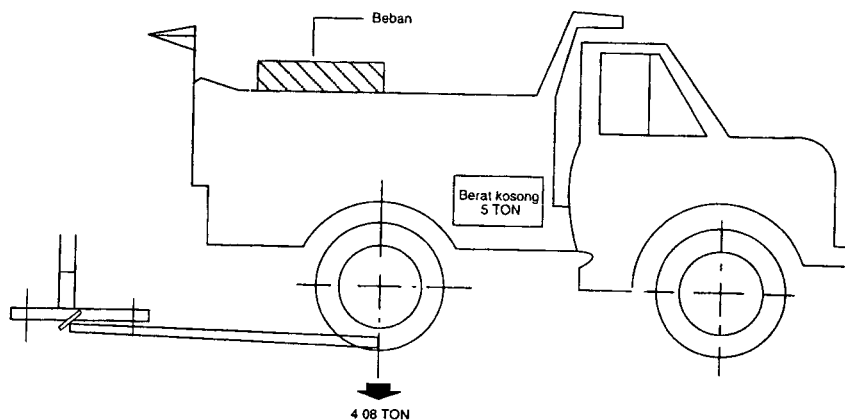
Gambar 6.6. Grafik Hasil Pemeriksaan Marshall pada "Mix Design"



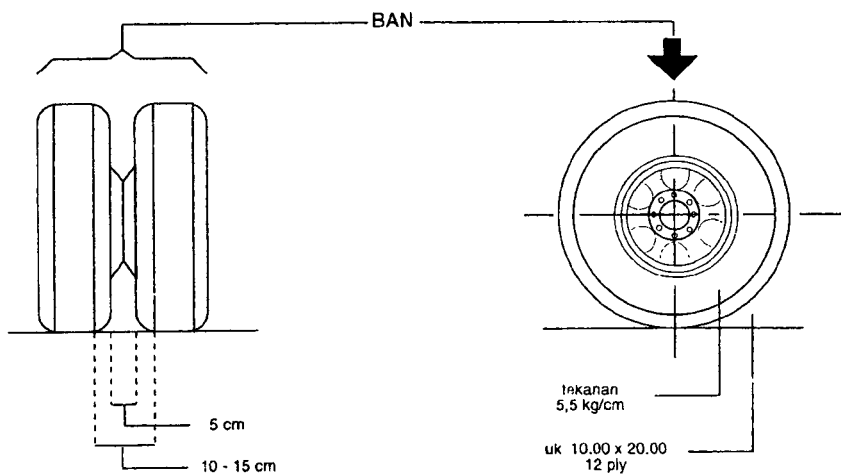
**Gambar 6.7. Alat Marshall**

LETAK TITIK PEMERIKSAAN		jumlah alat tiap titik pemeriksaan														
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>&lt; 3.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>2.30</td><td>0.30</td></tr><tr><td>4.00</td><td>1.00</td></tr><tr><td>4.50</td><td>1.25</td></tr><tr><td>3.00</td><td>1.30</td></tr><tr><td>&gt; 3.30</td><td>type jalan 1 jalur</td></tr></table> <p>keterangan a : jarak titik pemeriksaan ketepi perkerasan jalan b : lebar perkerasan jalan</p>	b	a	< 3.00	0.30	2.30	0.30	4.00	1.00	4.50	1.25	3.00	1.30	> 3.30	type jalan 1 jalur	X 1 jalur b b
b	a															
< 3.00	0.30															
2.30	0.30															
4.00	1.00															
4.50	1.25															
3.00	1.30															
> 3.30	type jalan 1 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>≤ 5.00</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr><tr><td>5.50</td><td>0.30</td></tr><tr><td>7.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>8.00</td><td>0.80</td></tr><tr><td>≥ 8.25</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr></table>	b	a	≤ 5.00	type jalan 2 jalur	5.50	0.30	7.00	0.30	8.00	0.80	≥ 8.25	type jalan 2 jalur	XX 2 jalur b b		
b	a															
≤ 5.00	type jalan 2 jalur															
5.50	0.30															
7.00	0.30															
8.00	0.80															
≥ 8.25	type jalan 2 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>≤ 8.00</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr><tr><td>8.25</td><td>0.20</td></tr><tr><td>10.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>11.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>≥ 11.25</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr></table>	b	a	≤ 8.00	type jalan 3 jalur	8.25	0.20	10.00	0.30	11.00	0.30	≥ 11.25	type jalan 3 jalur	XX 2 jalur b b		
b	a															
≤ 8.00	type jalan 3 jalur															
8.25	0.20															
10.00	0.30															
11.00	0.30															
≥ 11.25	type jalan 3 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 11.00</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr><tr><td>11.23</td><td>0.20</td></tr><tr><td>13.0</td><td>0.20</td></tr><tr><td>18.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>≥ 18.75</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 11.00	type jalan 4 jalur	11.23	0.20	13.0	0.20	18.00	0.30	≥ 18.75	type jalan 4 jalur	XX      XX 2x2 jalur b b		
b (m)	a (m)															
≤ 11.00	type jalan 4 jalur															
11.23	0.20															
13.0	0.20															
18.00	0.30															
≥ 18.75	type jalan 4 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 18.00</td><td>type jalan 6 jalur</td></tr><tr><td>&gt; 18.75</td><td>0.30</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 18.00	type jalan 6 jalur	> 18.75	0.30	XX      XX 3x2 jalur b b								
b (m)	a (m)															
≤ 18.00	type jalan 6 jalur															
> 18.75	0.30															

**Gambar 7.3.** Letak Titik Pemeriksaan

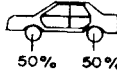
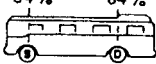
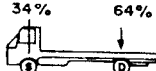
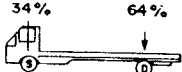
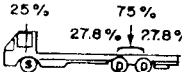
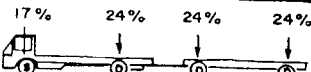
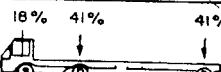
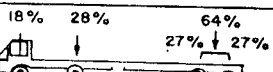


**Gambar 7.4.** Spesifikasi Truck Standar



**Gambar 7.5.** Roda Belakang Truck Standar

**Daftar 7.1.** Unit Equivalen 8,160 ton Beban As Tunggal (UE 18 KSAL)

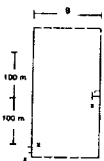
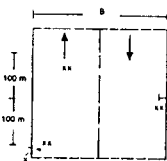
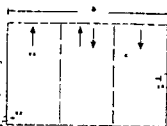
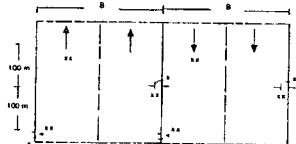
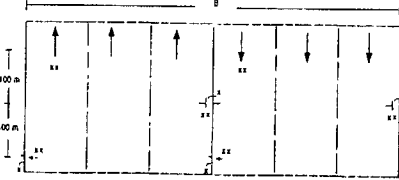
KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1.1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0004	
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	 <div data-bbox="869 573 1049 645" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           ⑤ RODA TUNGGAL PADA UJUNG SUMBU            ① RODA SANDA PADA UJUNG SUMBU         </div>
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1.22 TRUCK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1.2+2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	
1.2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1.2-22 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

**Daftar 7.2.** Faktor Hubungan Antara Umur Rencana dengan Perkembangan Lalu Lintas

$\begin{matrix} R\% \\ n \text{ tahun} \end{matrix}$	2%	4%	5%	6%	8%	10%
1 tahun	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05
2 tahun	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3 tahun	3,09	3,18	3,23	2,30	3,38	3,48
4 tahun	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5 tahun	5,25	5,53	5,66	5,80	6,10	6,41
6 tahun	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,10
7 tahun	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8 tahun	8,70	9,51	9,62	10,20	11,05	12,00
9 tahun	9,85	10,79	11,30	11,84	12,99	14,26
10 tahun	11,05	12,25	12,90	13,60	15,05	16,73
15 tahun	17,45	20,25	22,15	23,90	28,30	33,36
20 tahun	24,55	30,40	33,90	37,95	47,70	60,20

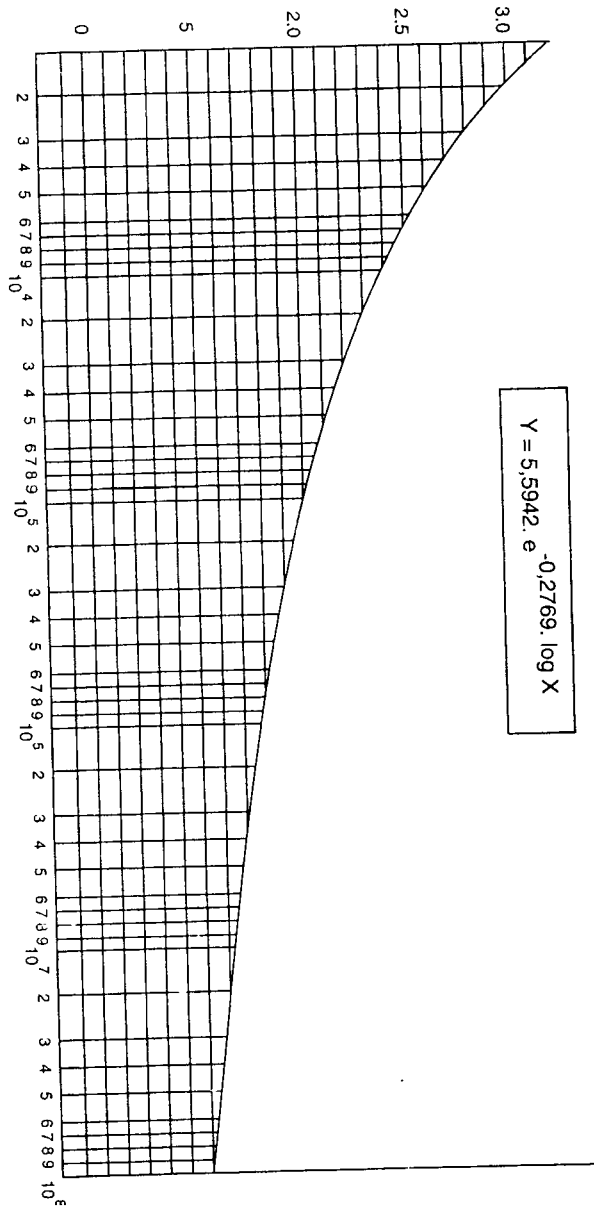
$$N = \frac{1}{2} \left\{ L + (L + R)^n + 2(L + R) \frac{(L + R)^{n-1}}{R} - 1 \right\}$$

### Daftar 7.3. Faktor Konversi Kekuatan Relatif Konstruksi Perkerasan

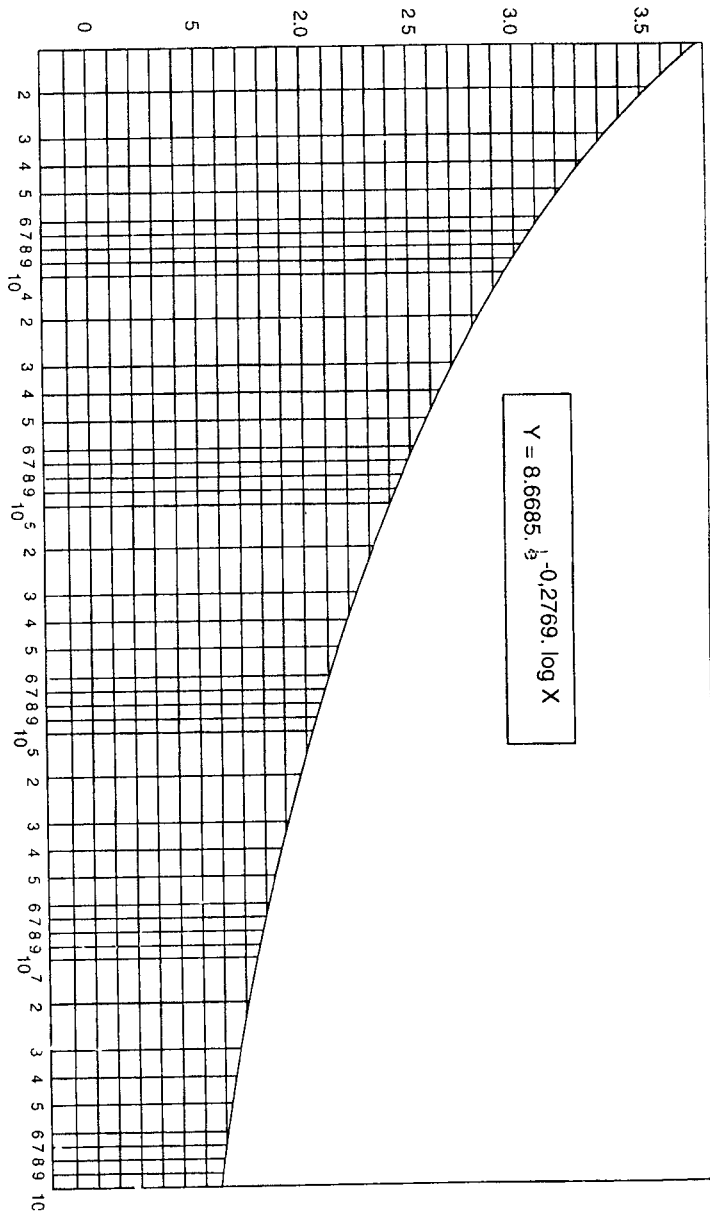
LETAK TITIK PEMERIKSAAN		jumlah alat tiap titik pemeriksaan														
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>&lt; 3 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>2 30</td><td>0 30</td></tr><tr><td>4 00</td><td>1 00</td></tr><tr><td>4 30</td><td>1 25</td></tr><tr><td>3 00</td><td>1 30</td></tr><tr><td>&gt; 3 30</td><td>type jalan 1 jalur</td></tr></table>	b	o	< 3 00	0 30	2 30	0 30	4 00	1 00	4 30	1 25	3 00	1 30	> 3 30	type jalan 1 jalur	X 1 jalur b b
b	o															
< 3 00	0 30															
2 30	0 30															
4 00	1 00															
4 30	1 25															
3 00	1 30															
> 3 30	type jalan 1 jalur															
<p>keterangan :</p> <p>a jarak titik pemeriksaan ke tepi perkerasan jalan</p> <p>b lebar perkerasan jalan</p>																
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>≤ 5 00</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr><tr><td>5 50</td><td>0 30</td></tr><tr><td>7 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>8 00</td><td>0 80</td></tr><tr><td>≥ 8 25</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr></table>	b	o	≤ 5 00	type jalan 2 jalur	5 50	0 30	7 00	0 30	8 00	0 80	≥ 8 25	type jalan 2 jalur	XX 2 jalur b b		
b	o															
≤ 5 00	type jalan 2 jalur															
5 50	0 30															
7 00	0 30															
8 00	0 80															
≥ 8 25	type jalan 2 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>≤ 8 00</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr><tr><td>8 25</td><td>0 20</td></tr><tr><td>10 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>11 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>≥ 11 25</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr></table>	b	o	≤ 8 00	type jalan 3 jalur	8 25	0 20	10 00	0 30	11 00	0 30	≥ 11 25	type jalan 3 jalur	XX 2 jalur b b		
b	o															
≤ 8 00	type jalan 3 jalur															
8 25	0 20															
10 00	0 30															
11 00	0 30															
≥ 11 25	type jalan 3 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>o (m)</th></tr><tr><td>≤ 11 00</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr><tr><td>11 23</td><td>0 20</td></tr><tr><td>13 0</td><td>0 20</td></tr><tr><td>18 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>≥ 18 75</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr></table>	b (m)	o (m)	≤ 11 00	type jalan 4 jalur	11 23	0 20	13 0	0 20	18 00	0 30	≥ 18 75	type jalan 4 jalur	XX      XX 2x2 jalur b b		
b (m)	o (m)															
≤ 11 00	type jalan 4 jalur															
11 23	0 20															
13 0	0 20															
18 00	0 30															
≥ 18 75	type jalan 4 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 18 00</td><td>type jalan 6 jalur</td></tr><tr><td>&gt; 18 75</td><td>0 30</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 18 00	type jalan 6 jalur	> 18 75	0 30	XX      XX 3x2 jalur b b								
b (m)	a (m)															
≤ 18 00	type jalan 6 jalur															
> 18 75	0 30															



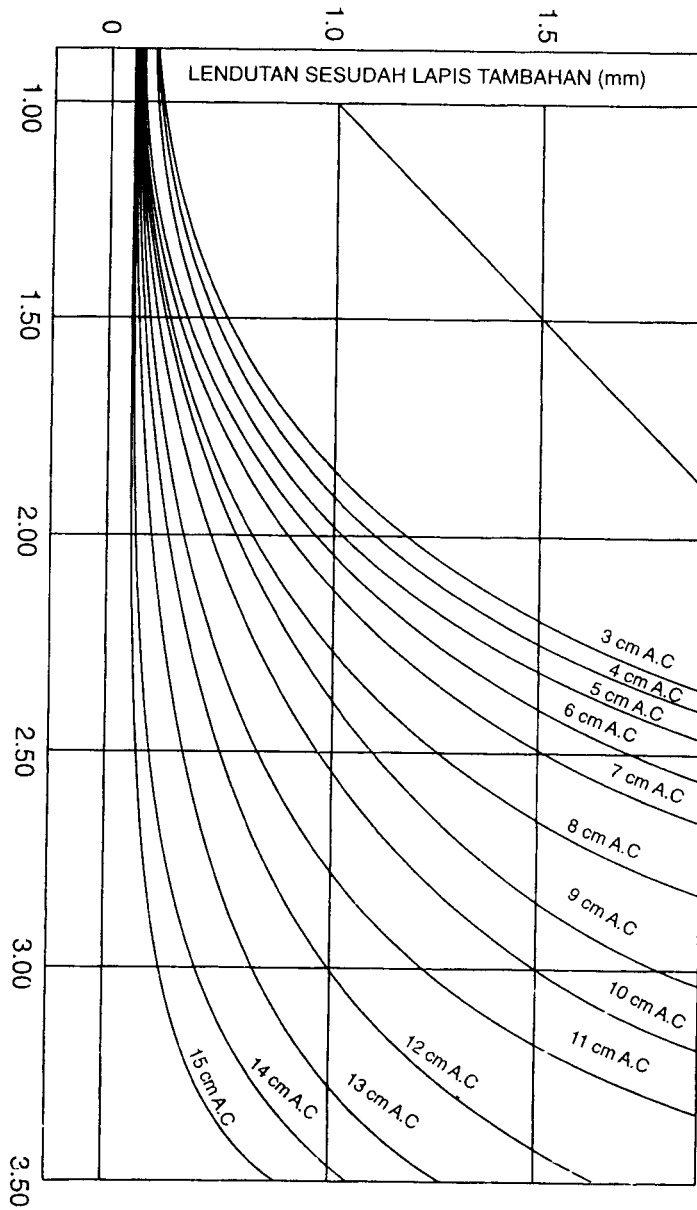
**Grafik 7.1.** AE 18 KSAL (Operasi)



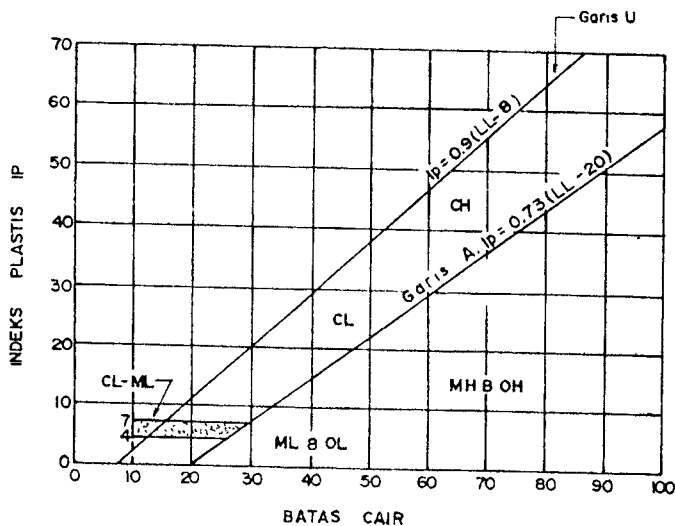
**Grafik. 7.1.a.** AE 18 KSAL (Operasi)



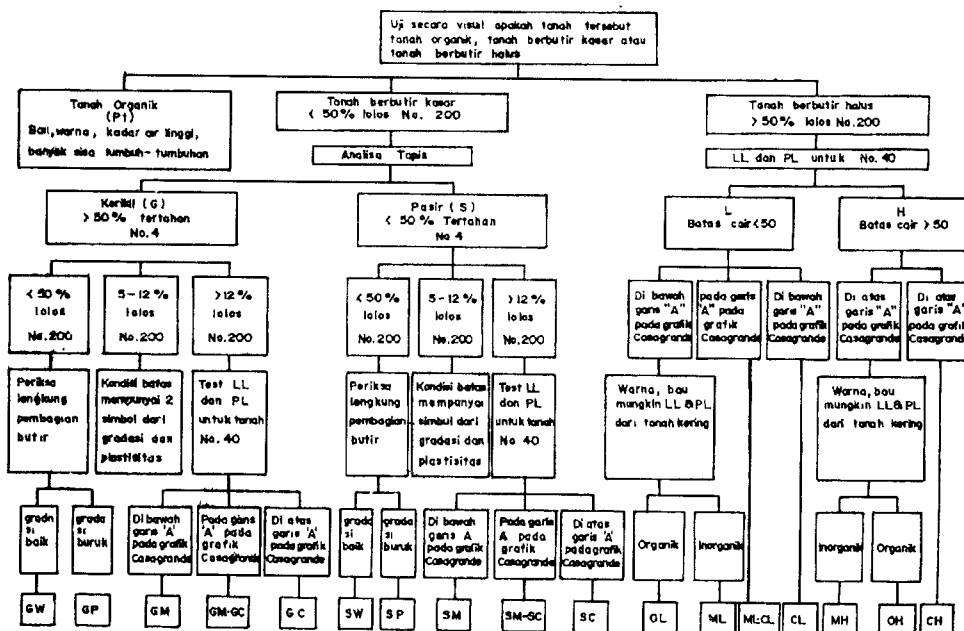
**Grafik 7.2.** Lendutan Sebelum Lapis Tambahan (= D) mm



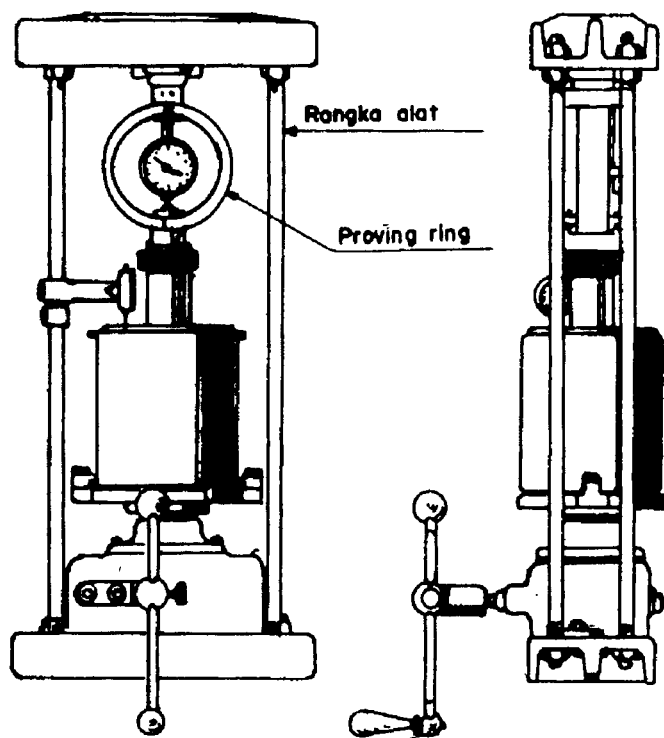
# Lampiran



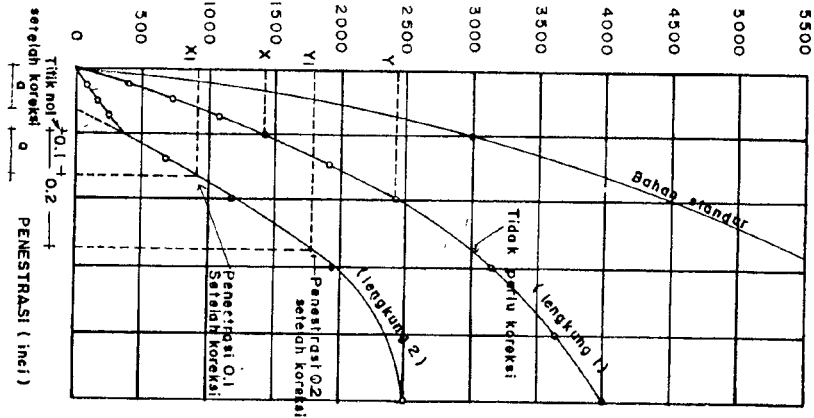
**Gambar 3.13. Grafik Casagrande**



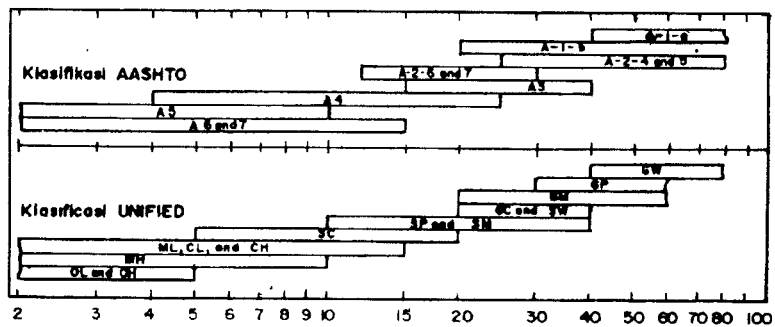
**Gambar 3.14.** Bagan Alir Klasifikasi Unified



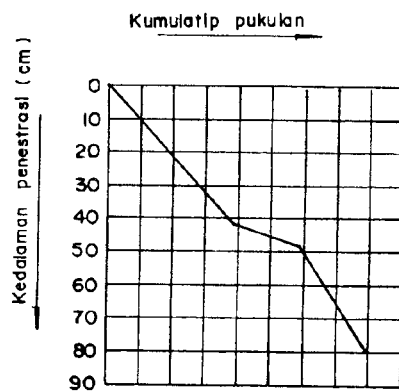
**Gambar 3.15.** Alat Pemeriksaan CBR di Laboratorium



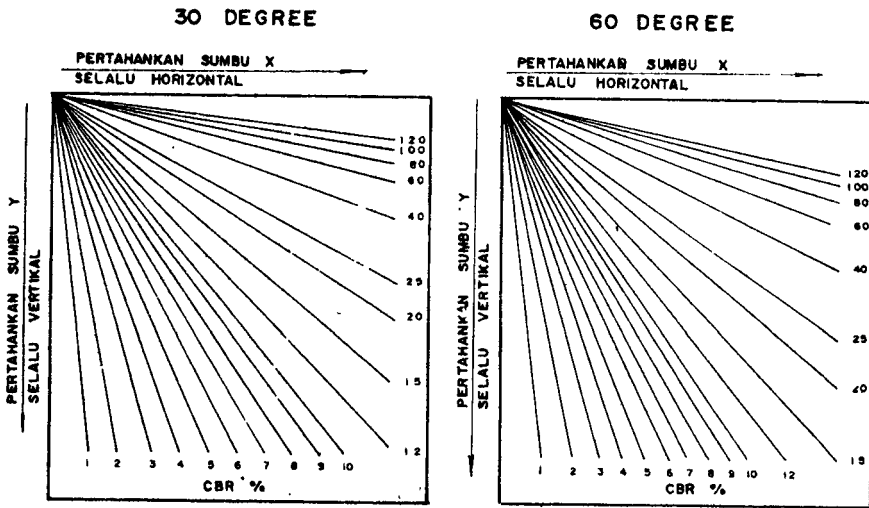
Gambar 3.16. Grafik Hubungan antara Beban dan Penetrasi pada Pemeriksaan CBR



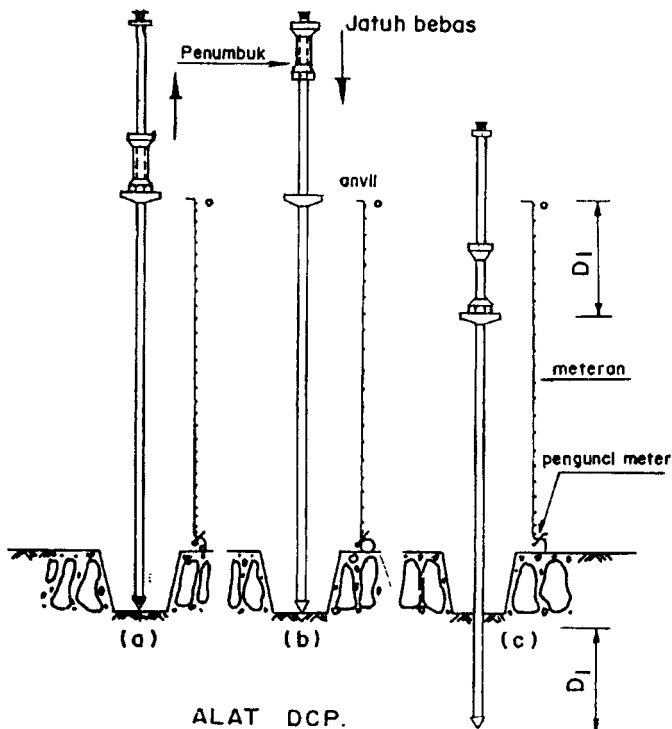
Gambar 3.17. Perkiraan Nilai CBR Berdasarkan Klasifikasi Tanah



Gambar 3.18. Grafik Hasil Pemeriksaan DCP.

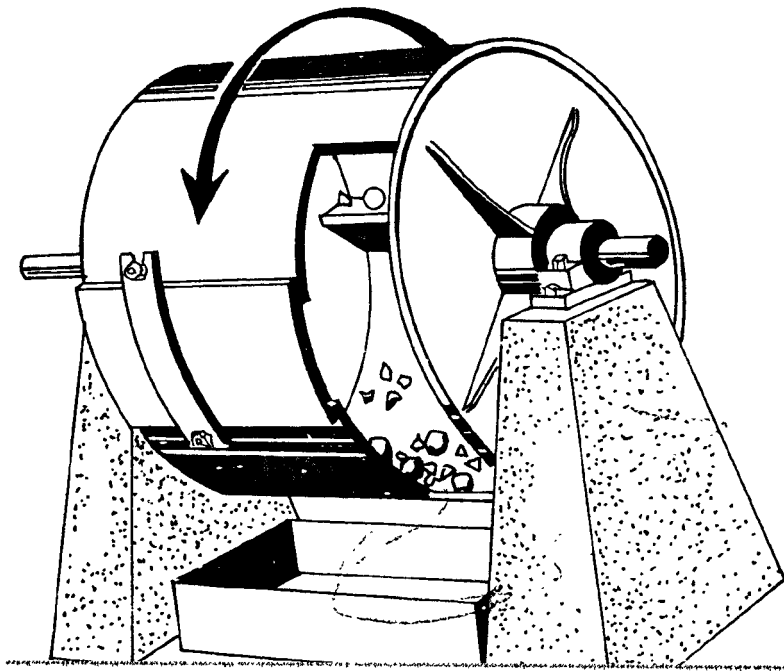


Gambar 3.19. Grafik Korelasi antara DCP dan CBR Lapangan

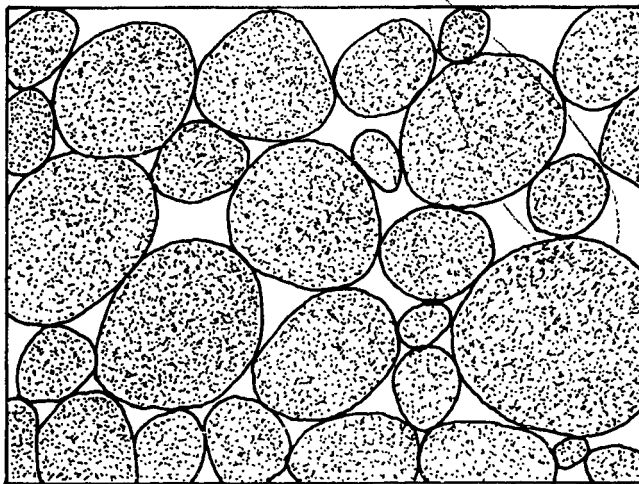


Gambar 3.20. Alat DCP (Dynamit Cone Penetrometer)

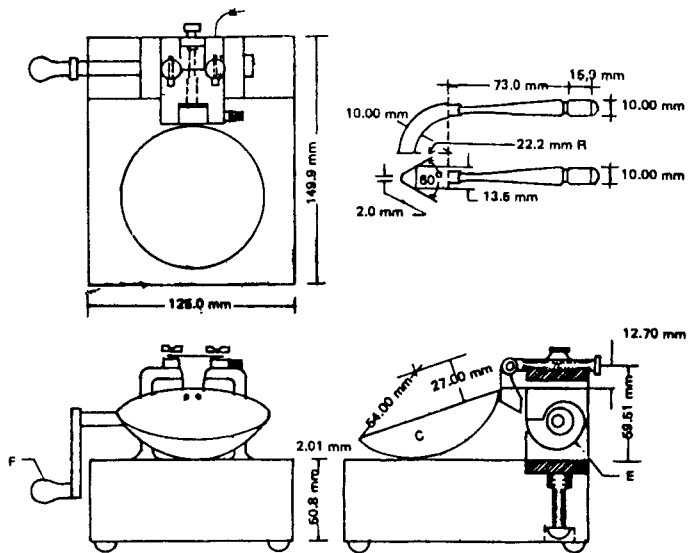




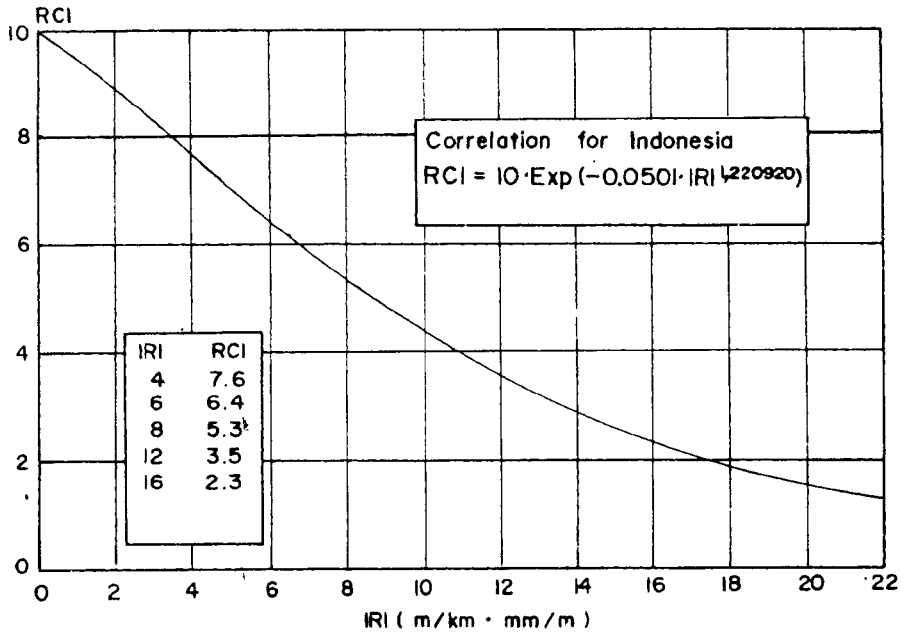
**Gambar 3.21.** Alat Percobaan Abrasi



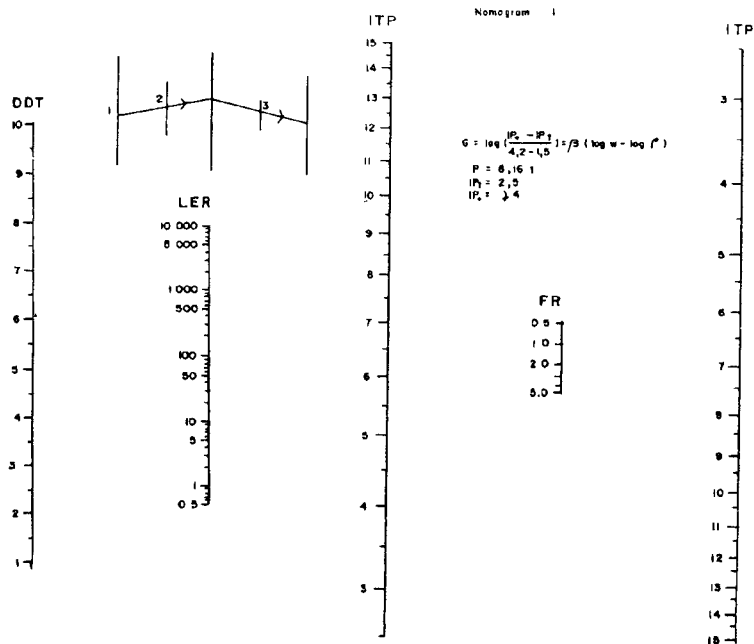
**Gambar 3.22.** Letak dan Susunan Partikel Agregat Berbentuk *Rounded*



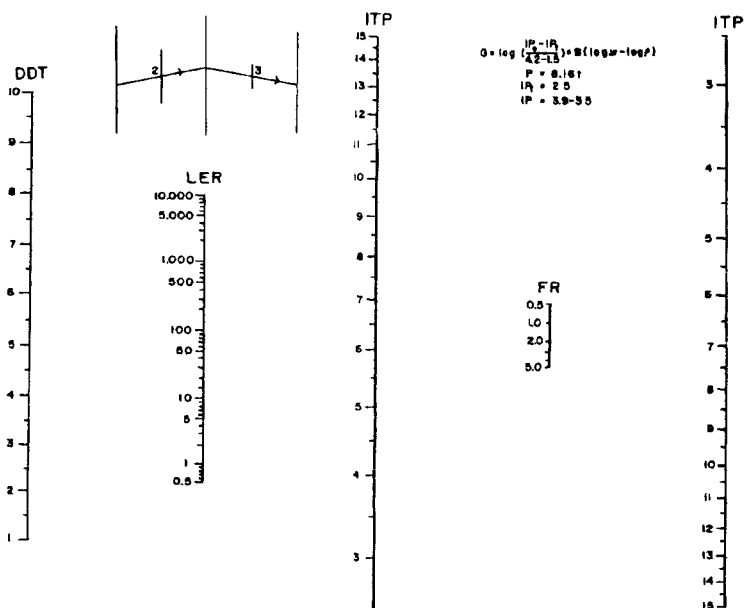
**Gambar 3.23.** Alat Pemeriksaan Batas Cair



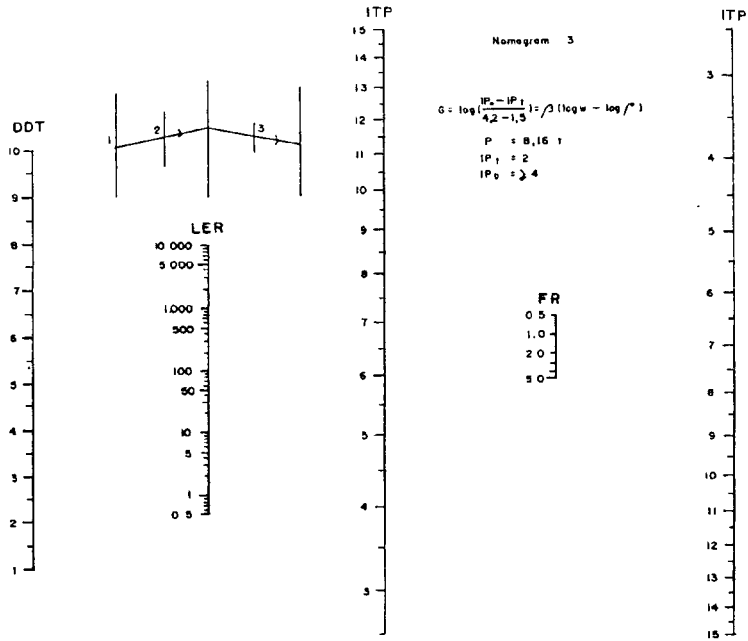
**Gambar 4.2.** Korelasi antara RCI dan IRI



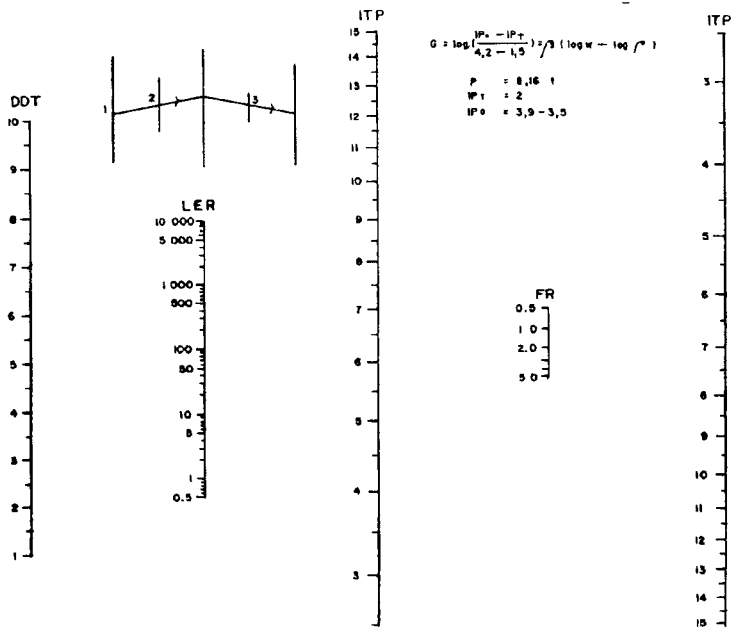
Gambar 5.7. Nomogram Untuk  $IP_t = 2.5$  dan  $IP_0 \Rightarrow 4$



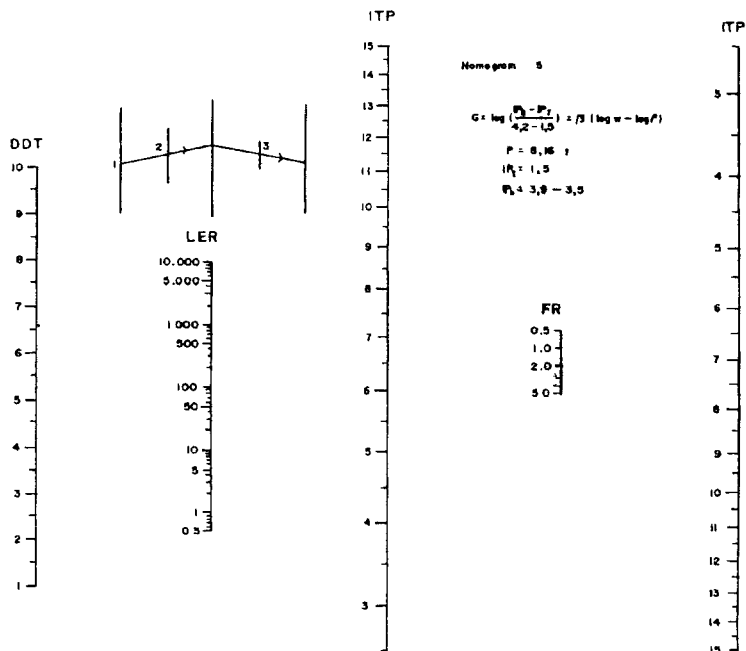
Gambar 5.8. Nomogram Untuk  $IP_t = 2.5$  dan  $IP_0 = 3.9 - 3.5$



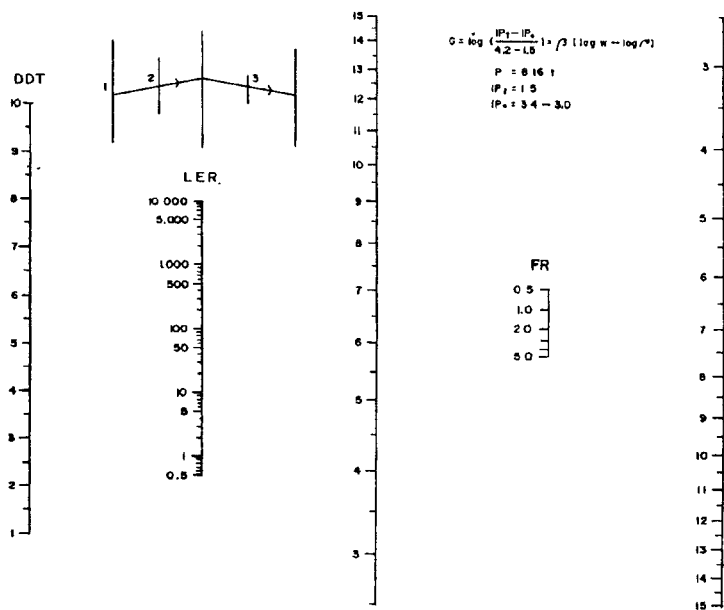
Gambar 5.9. Nomogram Untuk  $IP_1 = 2.0$  dan  $IP_0 = \Rightarrow 4$



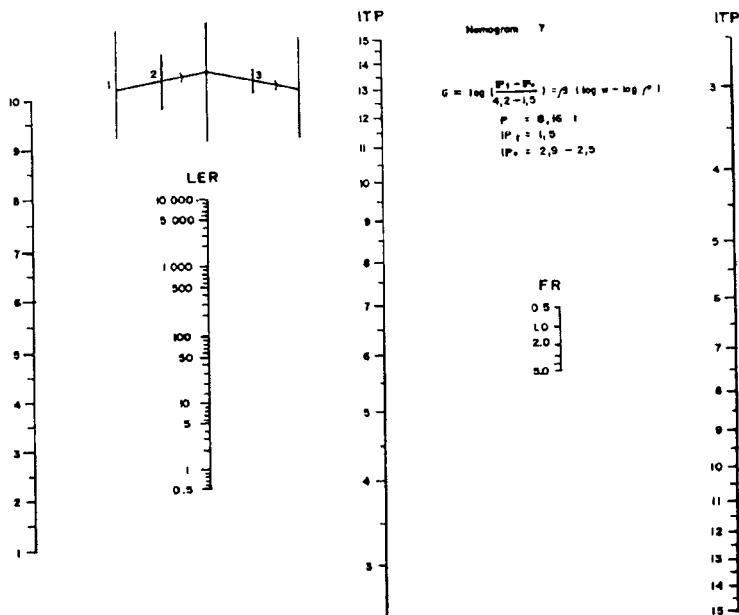
Gambar 5.10. Nomogram Untuk  $IP_1 = 2.0$  dan  $IP_0 = 3.9 - 3.5$



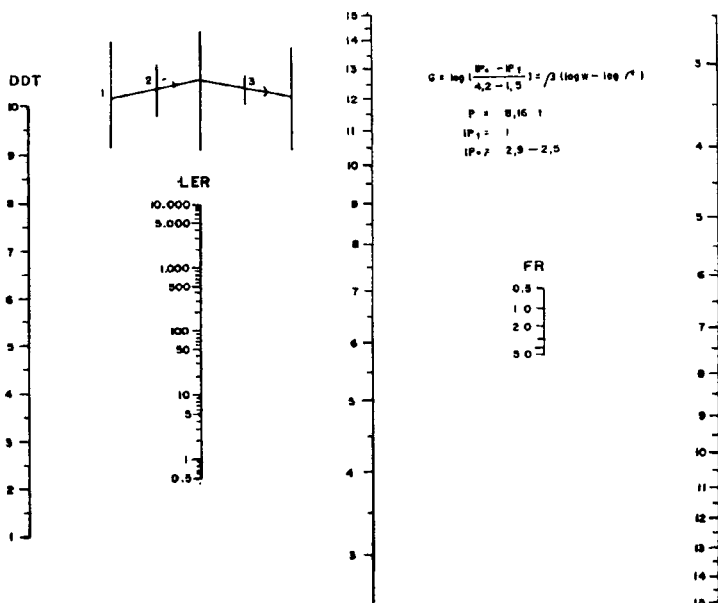
Gambar 5.11. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 3,9 - 3,5$



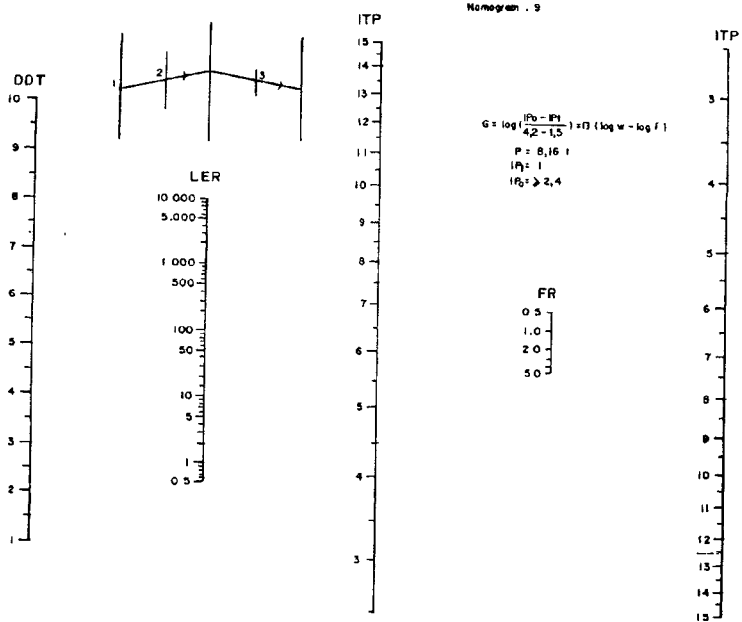
Gambar 5.12. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 3,4 - 3,0$



Gambar 5.13. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,5$  dan  $IP_0 = 2,9 - 2,5$



Gambar 5.14. Nomogram Untuk  $IP_t = 1,0$  dan  $IP_0 = 2,9 - 2,5$



**Gambar 5.15.** Nomogram Untuk  $IP_t = 1,0$  dan  $IP_0 = \ll 2,4$

**Tabel 5.17.a.** Erosion Factors-Doweled Joint, No Concrete Shoulders (Single Axle/  
Tandem Axles)

Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19



**Tabel 5.17.b.** Erosion Factors-Aggregate Interlock Joint, No Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

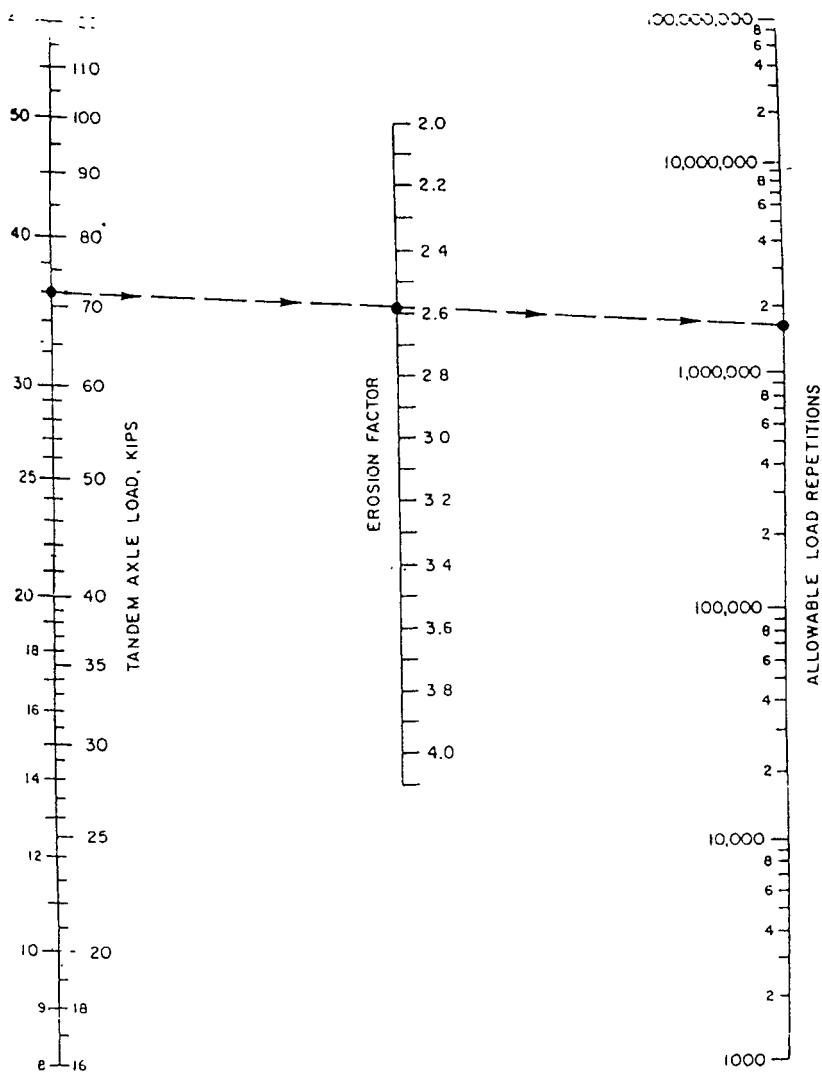
Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	2.75/2.86	2.73/2.81
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.67
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/	2.49/2.63
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	2.41/2.60	2.39/2.55
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.44

**Tabel 5.18.a.** Erosion Factors-Doweled Joint,  
Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

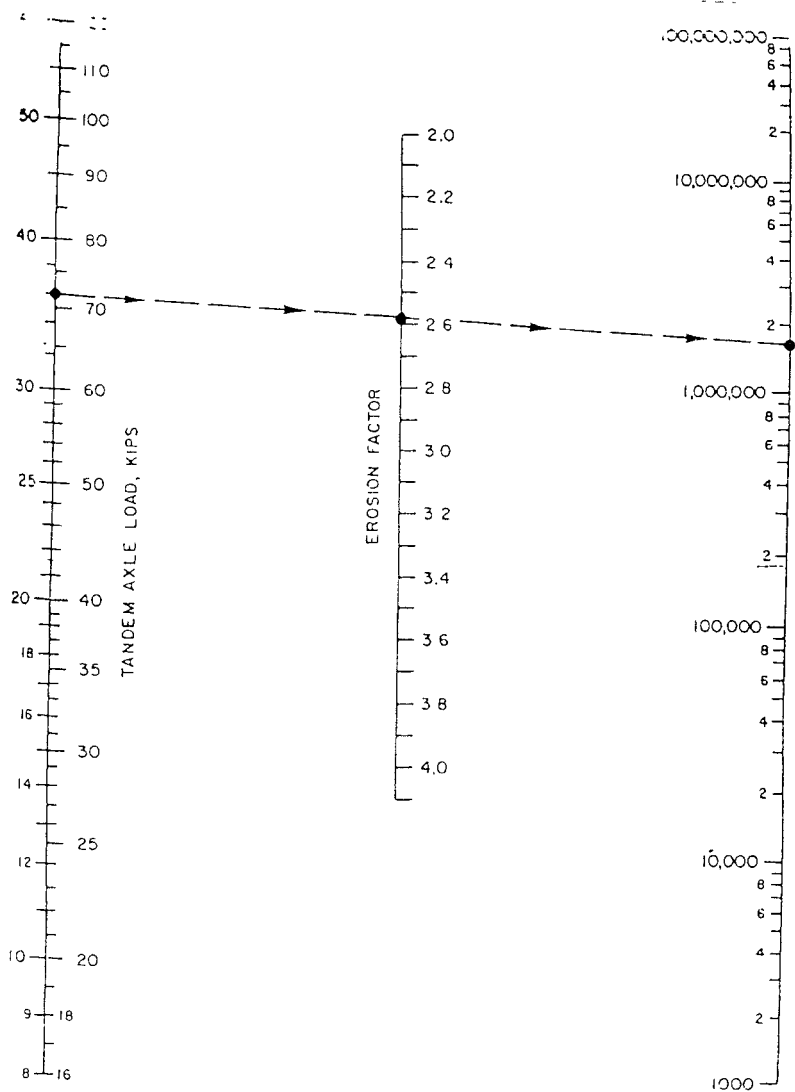
Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.28/3.30	3.24/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.08
4.5	3.13/3.19	3.09/3.08	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
5	3.01/3.09	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
5.5	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
6	2.79/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
6.5	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.58/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
7	2.61/2.79	2.56/2.68	2.52/2.56	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
7.5	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.14/2.44	2.38/2.36	2.35/2.31
8	2.46/2.68	2.41/2.56	2.36/2.44	2.33/2.38	2.30/2.30	2.27/2.24
8.5	2.39/2.62	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
9	2.32/2.57	2.27/2.46	2.22/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.13
9.5	2.26/2.52	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
10	2.20/2.47	2.15/2.36	2.10/2.25	2.07/2.18	2.03/2.09	2.01/2.03
10.5	2.15/2.43	2.09/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
11	2.10/2.39	2.04/2.28	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
11.5	2.05/2.35	1.99/2.24	1.93/2.12	1.09/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
12	2.00/2.31	1.94/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
12.5	1.95/2.27	1.89/2.16	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
13	1.91/2.23	1.85/1.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.80
13.5	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/1.98	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
14	1.82/2.17	1.76/2.06	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

**Tabel 5.18.b.** Erosion Factors-Aggregate Interlock Joints,  
Concrete Shoulders (Single Axle/Tandem Axles)

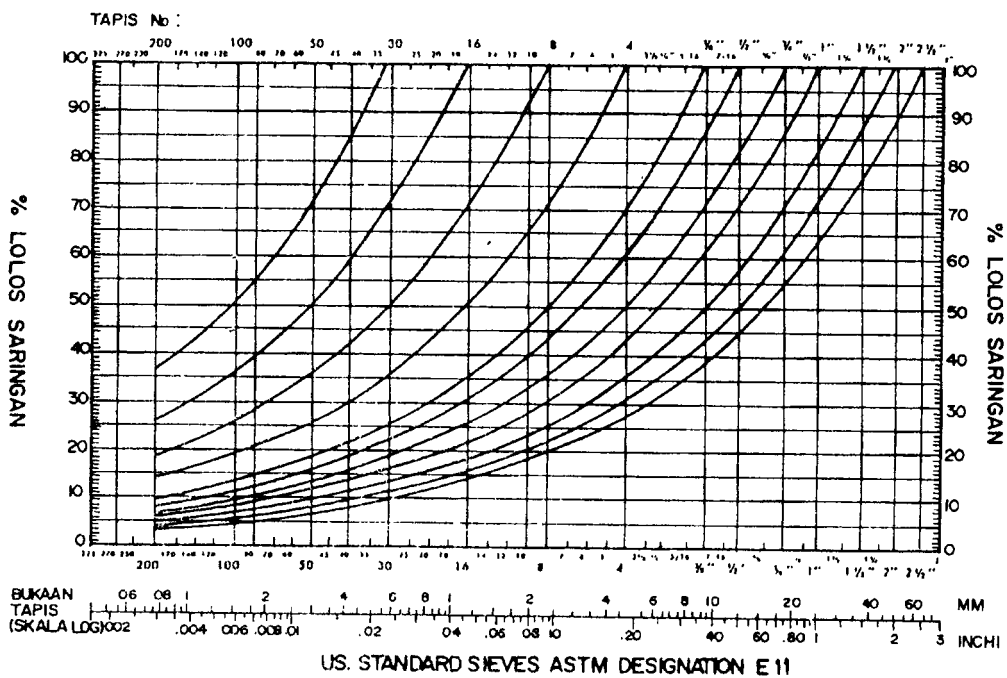
Slab thick- ness in	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.46/3.49	3.42/3.39	3.38/3.32	3.36/3.29	3.23/3.26	3.28/3.24
4.5	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	3.19/3.12	3.15/3.09
5	3.20/3.30	3.16/3.18	3.12/3.09	3.10/3.05	3.07/3.00	3.04/2.97
5.5	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	2.96/2.90	2.93/2.86
6	3.00/3.15	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	2.86/2.81	2.83/2.77
6.5	2.19/3.08	2.86/2.96	2.18/2.85	2.79/2.79	2.76/2.73	2.74/2.68
7	2.83/3.02	2.77/2.90	2.73/2.78	2.70/2.72	2.68/2.66	2.65/2.61
7.5	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	2.60/2.59	2.57/2.54
8	2.69/2.29	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	2.52/2.53	2.50/2.48
8.5	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.48/2.55	2.45/2.48	2.43/2.43
9	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	2.39/2.43	2.36/2.38
9.5	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	2.33/2.38	2.30/2.33
10	2.46/2.75	2.39/2.61	2.33/2.49	2.30/2.42	2.27/2.34	2.24/2.28
10.5	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.38	2.21/2.30	2.19/2.24
11	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	2.16/2.26	2.14/2.20
11.5	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.13	2.11/2.22	2.09/2.16
12	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	2.06/2.19	2.04/2.13
12.5	2.24/2.59	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	2.02/2.15	1.99/2.10
13	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	1.98/2.12	1.95/2.06
13.5	2.16/2.53	2.08/2.39	2.00/2.25	1.97/2.18	1.93/2.09	1.91/2.03
14	2.13/2.51	2.04/2.36	1.97/2.23	1.93/2.15	1.89/2.06	1.87/2.00



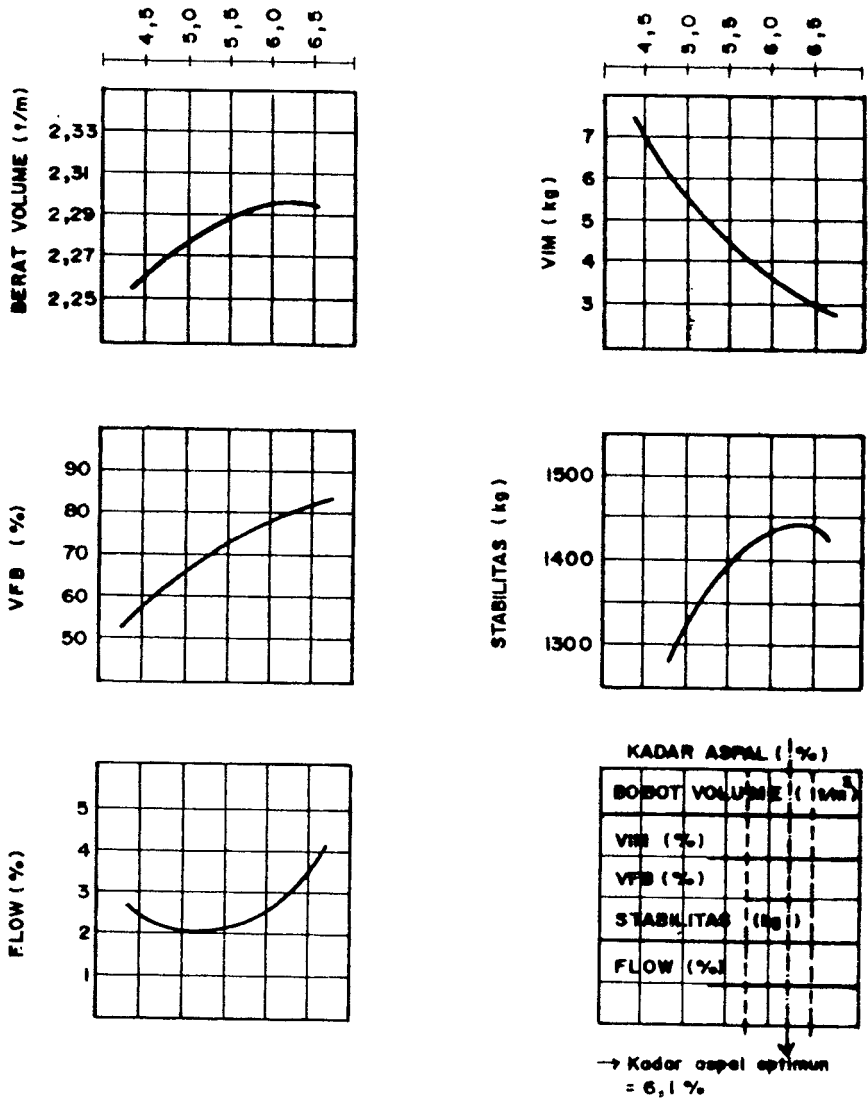
**Gambar 5.23.a.** Erosion Analysis Allowable Load Repetitions Based on Erosion Factors  
(Without Concrete Shoulder)



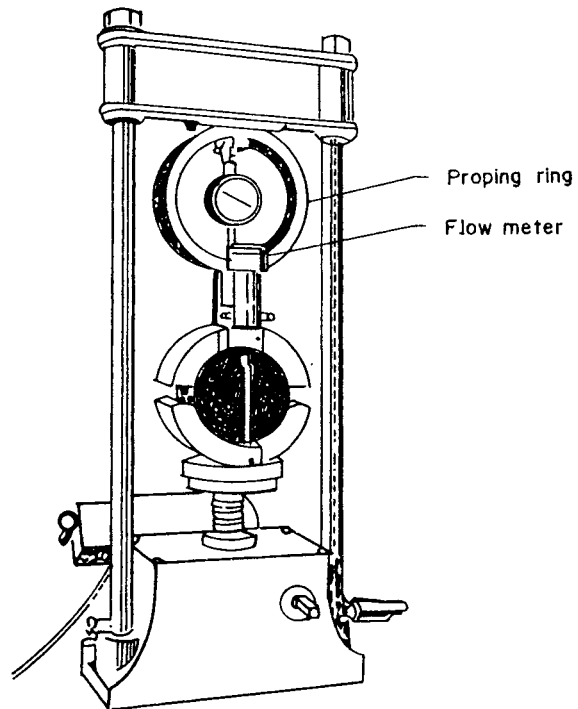
**Gambar 5.23.b.** Erosion Analysis Allowable Load Repetitions Based on Erosion Factors  
(Without Concrete Shoulder)



Gambar 6.5. Lengkung Fuller

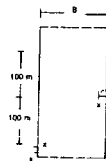

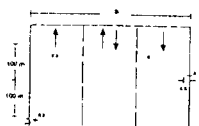
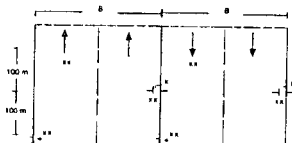
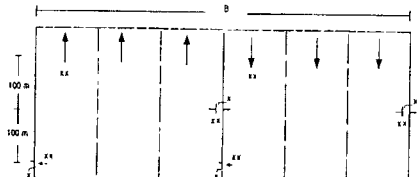


Gambar 6.6. Grafik Hasil Pemeriksaan Marshall pada “Mix Design”

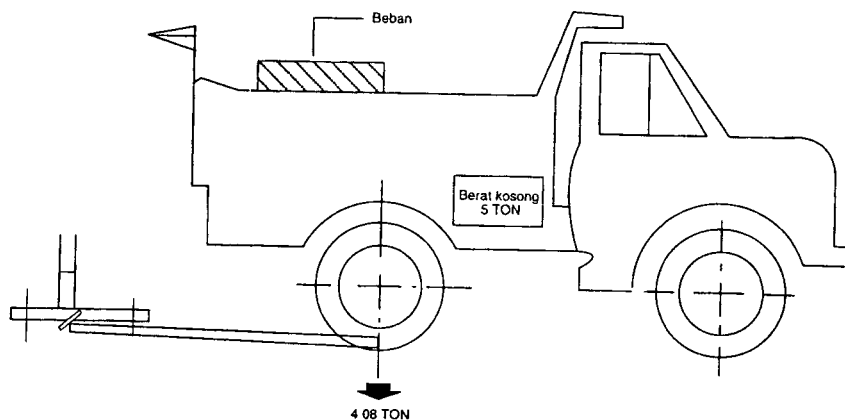


**Gambar 6.7. Alat Marshall**

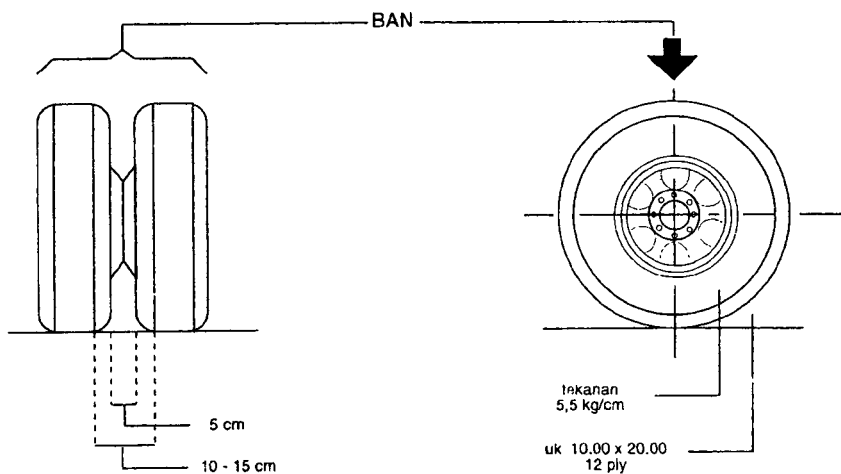


LETAK TITIK PEMERIKSAAN		jumlah alat tiap titik pemeriksaan														
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>&lt; 3.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>2.30</td><td>0.30</td></tr><tr><td>4.00</td><td>1.00</td></tr><tr><td>4.50</td><td>1.25</td></tr><tr><td>3.00</td><td>1.30</td></tr><tr><td>&gt; 3.30</td><td>type jalan 1 jalur</td></tr></table> <p>keterangan a : jarak titik pemeriksaan ketepi perkerasan jalan b : lebar perkerasan jalan</p>	b	a	< 3.00	0.30	2.30	0.30	4.00	1.00	4.50	1.25	3.00	1.30	> 3.30	type jalan 1 jalur	X 1 jalur b b
b	a															
< 3.00	0.30															
2.30	0.30															
4.00	1.00															
4.50	1.25															
3.00	1.30															
> 3.30	type jalan 1 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>≤ 5.00</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr><tr><td>5.50</td><td>0.30</td></tr><tr><td>7.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>8.00</td><td>0.80</td></tr><tr><td>≥ 8.25</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr></table>	b	a	≤ 5.00	type jalan 2 jalur	5.50	0.30	7.00	0.30	8.00	0.80	≥ 8.25	type jalan 2 jalur	XX 2 jalur b b		
b	a															
≤ 5.00	type jalan 2 jalur															
5.50	0.30															
7.00	0.30															
8.00	0.80															
≥ 8.25	type jalan 2 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>a</th></tr><tr><td>≤ 8.00</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr><tr><td>8.25</td><td>0.20</td></tr><tr><td>10.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>11.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>≥ 11.25</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr></table>	b	a	≤ 8.00	type jalan 3 jalur	8.25	0.20	10.00	0.30	11.00	0.30	≥ 11.25	type jalan 3 jalur	XX 2 jalur b b		
b	a															
≤ 8.00	type jalan 3 jalur															
8.25	0.20															
10.00	0.30															
11.00	0.30															
≥ 11.25	type jalan 3 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 11.00</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr><tr><td>11.23</td><td>0.20</td></tr><tr><td>13.0</td><td>0.20</td></tr><tr><td>18.00</td><td>0.30</td></tr><tr><td>≥ 18.75</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 11.00	type jalan 4 jalur	11.23	0.20	13.0	0.20	18.00	0.30	≥ 18.75	type jalan 4 jalur	XX      XX 2x2 jalur b b		
b (m)	a (m)															
≤ 11.00	type jalan 4 jalur															
11.23	0.20															
13.0	0.20															
18.00	0.30															
≥ 18.75	type jalan 4 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 18.00</td><td>type jalan 6 jalur</td></tr><tr><td>&gt; 18.75</td><td>0.30</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 18.00	type jalan 6 jalur	> 18.75	0.30	XX      XX 3x2 jalur b b								
b (m)	a (m)															
≤ 18.00	type jalan 6 jalur															
> 18.75	0.30															

**Gambar 7.3.** Letak Titik Pemeriksaan

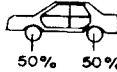
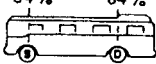
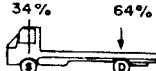
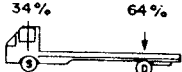
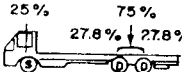
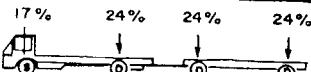
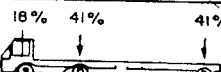
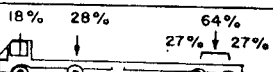


**Gambar 7.4.** Spesifikasi Truck Standar



**Gambar 7.5.** Roda Belakang Truck Standar

**Daftar 7.1.** Unit Equivalen 8,160 ton Beban As Tunggal (UE 18 KSAL)

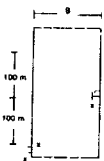
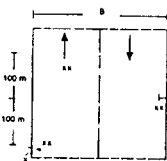
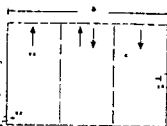
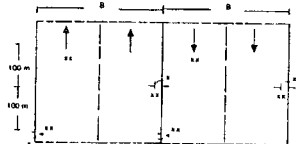
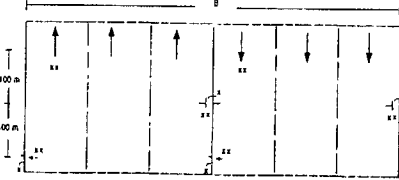
KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAL KOSONG	UE 18 KSAL MAKSIMUM	
1.1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0004	
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	 <div data-bbox="869 573 1049 645" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>⑤ RODA TUNGGAL PADA UJUNG SUMBU</p> <p>① RODA SANDA PADA UJUNG SUMBU</p> </div>
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1.22 TRUCK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1.2+2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	
1.2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1.2-22 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

**Daftar 7.2.** Faktor Hubungan Antara Umur Rencana dengan Perkembangan Lalu Lintas

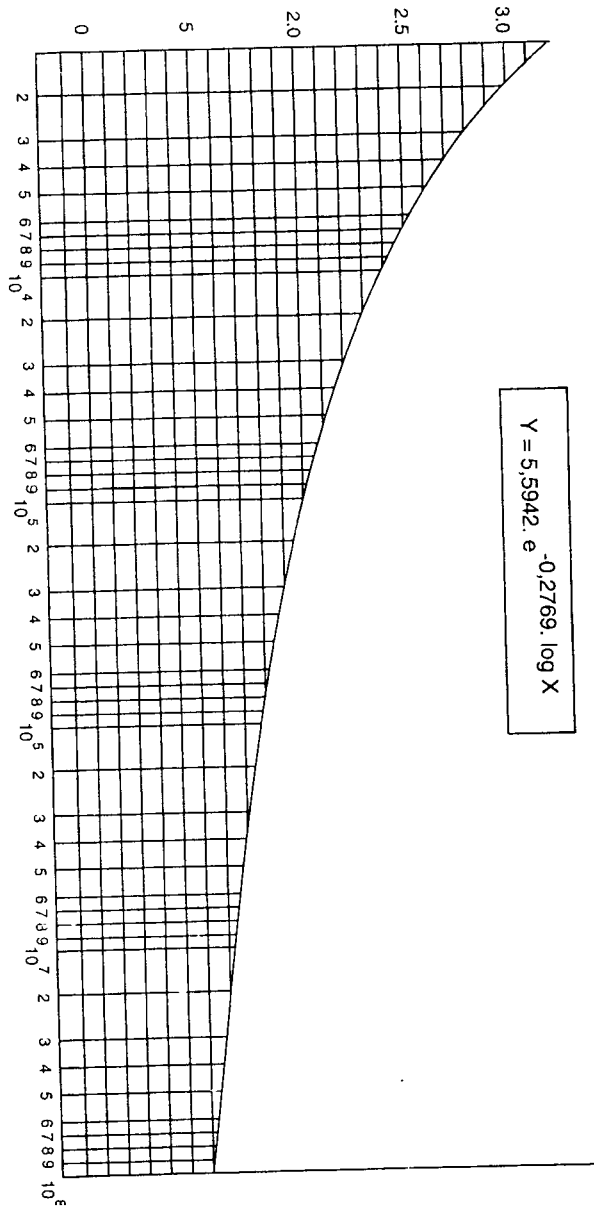
$\begin{matrix} R\% \\ n \text{ tahun} \end{matrix}$	2%	4%	5%	6%	8%	10%
1 tahun	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05
2 tahun	2,04	2,08	2,10	2,12	2,16	2,21
3 tahun	3,09	3,18	3,23	2,30	3,38	3,48
4 tahun	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5 tahun	5,25	5,53	5,66	5,80	6,10	6,41
6 tahun	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,10
7 tahun	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8 tahun	8,70	9,51	9,62	10,20	11,05	12,00
9 tahun	9,85	10,79	11,30	11,84	12,99	14,26
10 tahun	11,05	12,25	12,90	13,60	15,05	16,73
15 tahun	17,45	20,25	22,15	23,90	28,30	33,36
20 tahun	24,55	30,40	33,90	37,95	47,70	60,20

$$N = \frac{1}{2} \left\{ L + (L + R)^n + 2(L + R) \frac{(L + R)^{n-1}}{R} - 1 \right\}$$

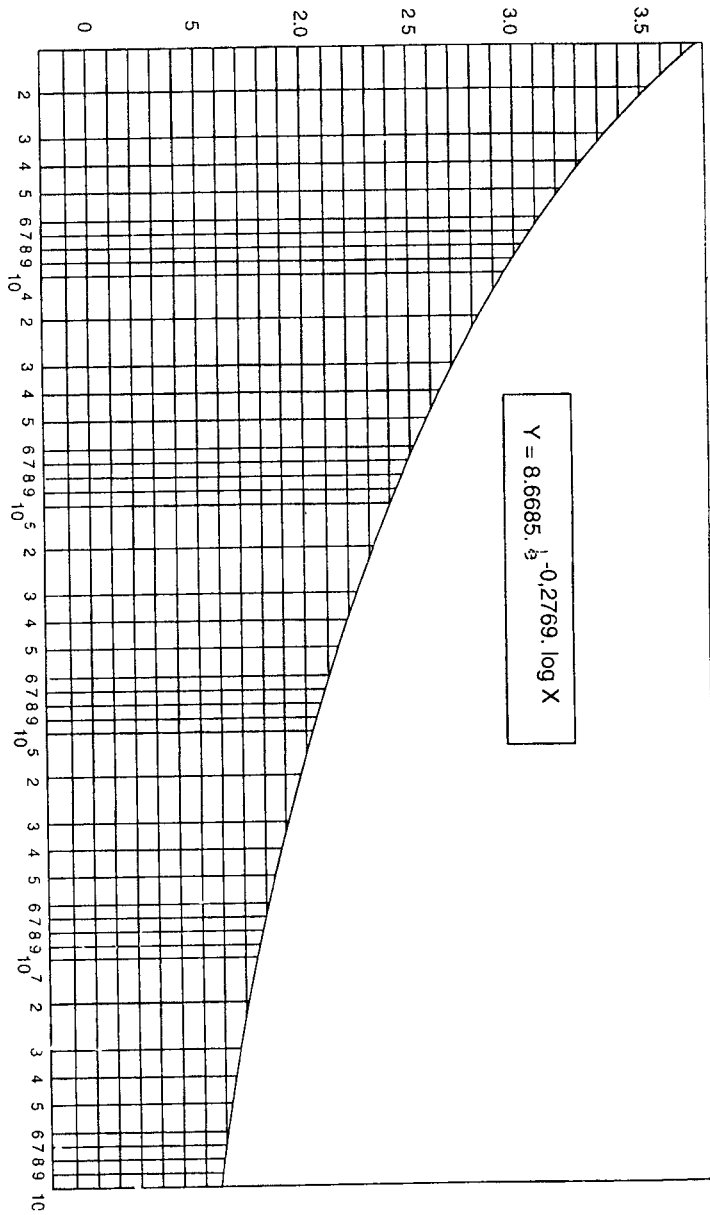
### Daftar 7.3. Faktor Konversi Kekuatan Relatif Konstruksi Perkerasan

LETAK TITIK PEMERIKSAAN		jumlah alat tiap titik pemeriksaan														
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>&lt; 3 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>2 30</td><td>0 30</td></tr><tr><td>4 00</td><td>1 00</td></tr><tr><td>4 30</td><td>1 25</td></tr><tr><td>3 00</td><td>1 30</td></tr><tr><td>&gt; 3 30</td><td>type jalan 1 jalur</td></tr></table>	b	o	< 3 00	0 30	2 30	0 30	4 00	1 00	4 30	1 25	3 00	1 30	> 3 30	type jalan 1 jalur	X 1 jalur b b
b	o															
< 3 00	0 30															
2 30	0 30															
4 00	1 00															
4 30	1 25															
3 00	1 30															
> 3 30	type jalan 1 jalur															
<p>keterangan :</p> <p>a jarak titik pemeriksaan ke tepi perkerasan jalan</p> <p>b lebar perkerasan jalan</p>																
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>≤ 5 00</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr><tr><td>5 50</td><td>0 30</td></tr><tr><td>7 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>8 00</td><td>0 80</td></tr><tr><td>≥ 8 25</td><td>type jalan 2 jalur</td></tr></table>	b	o	≤ 5 00	type jalan 2 jalur	5 50	0 30	7 00	0 30	8 00	0 80	≥ 8 25	type jalan 2 jalur	XX 2 jalur b b		
b	o															
≤ 5 00	type jalan 2 jalur															
5 50	0 30															
7 00	0 30															
8 00	0 80															
≥ 8 25	type jalan 2 jalur															
	<table><tr><th>b</th><th>o</th></tr><tr><td>≤ 8 00</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr><tr><td>8 25</td><td>0 20</td></tr><tr><td>10 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>11 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>≥ 11 25</td><td>type jalan 3 jalur</td></tr></table>	b	o	≤ 8 00	type jalan 3 jalur	8 25	0 20	10 00	0 30	11 00	0 30	≥ 11 25	type jalan 3 jalur	XX 2 jalur b b		
b	o															
≤ 8 00	type jalan 3 jalur															
8 25	0 20															
10 00	0 30															
11 00	0 30															
≥ 11 25	type jalan 3 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>o (m)</th></tr><tr><td>≤ 11 00</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr><tr><td>11 23</td><td>0 20</td></tr><tr><td>13 0</td><td>0 20</td></tr><tr><td>16 00</td><td>0 30</td></tr><tr><td>≥ 16 75</td><td>type jalan 4 jalur</td></tr></table>	b (m)	o (m)	≤ 11 00	type jalan 4 jalur	11 23	0 20	13 0	0 20	16 00	0 30	≥ 16 75	type jalan 4 jalur	XX      XX 2x2 jalur b b		
b (m)	o (m)															
≤ 11 00	type jalan 4 jalur															
11 23	0 20															
13 0	0 20															
16 00	0 30															
≥ 16 75	type jalan 4 jalur															
	<table><tr><th>b (m)</th><th>a (m)</th></tr><tr><td>≤ 18 00</td><td>type jalan 6 jalur</td></tr><tr><td>&gt; 18 75</td><td>0 30</td></tr></table>	b (m)	a (m)	≤ 18 00	type jalan 6 jalur	> 18 75	0 30	XX      XX 3x2 jalur b b								
b (m)	a (m)															
≤ 18 00	type jalan 6 jalur															
> 18 75	0 30															

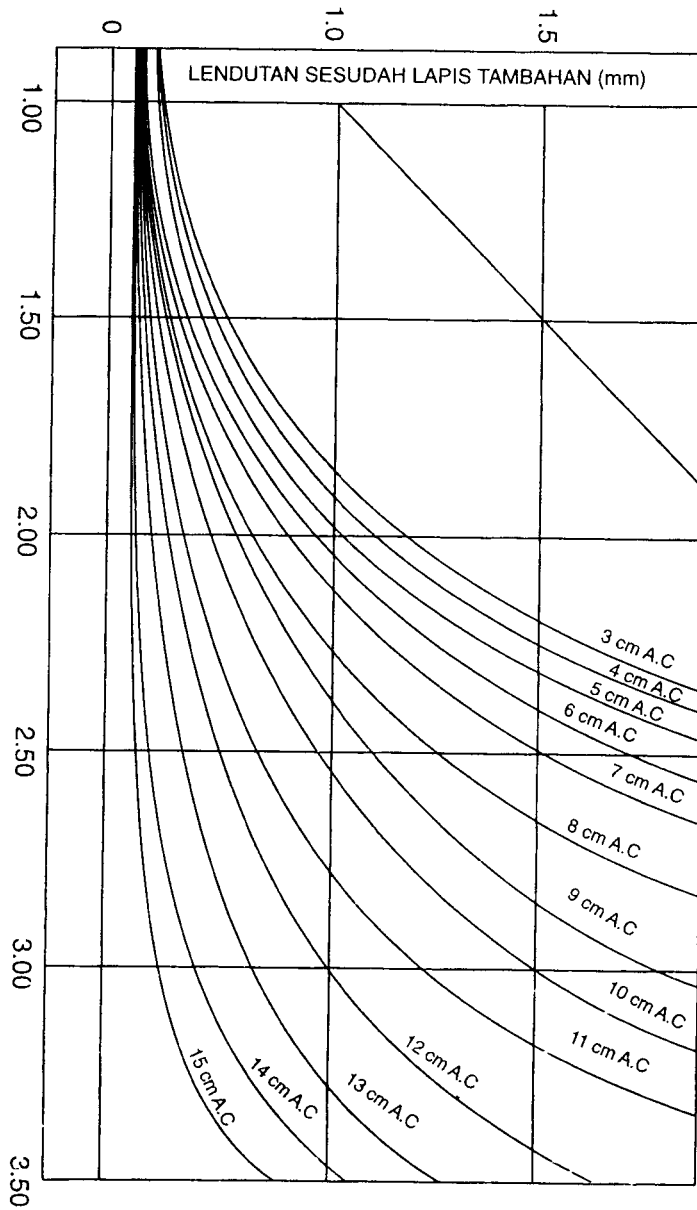
**Grafik 7.1.** AE 18 KSAL (Operasi)



**Grafik. 7.1.a.** AE 18 KSAL (Operasi)



**Grafik 7.2.** Lendutan Sebelum Lapis Tambahan (= D) mm





## BAB II. JENIS, SIFAT DAN FUNGSI PERKERASAN

Perkerasan jalan adalah lapisan atas badan jalan yang menggunakan bahan khusus yang secara konstruktif lebih baik daripada tanah dasar. Dari persyaratan umum dari perkerasan lalu lintas dapat disimpulkan bahwa perkerasan jalan mempunyai persyaratan : kuat, awet, kedap air, rata, tidak licin, murah dan mudah dikerjakan, oleh karena itu bahan perkerasan jalan yang paling cocok adalah pasir, kerikil, batu dan bahan pengikat (aspal atau semen).

Konstruksi perkerasan secara umum terdiri dari :

- Lapisan Permukaan (Surface Course).
- Lapisan Pondasi Atas (Base Course).
- Lapisan Pondasi bawah (Sub Base Course).
- Lapisan Tanah Dasar (Subgrade).

### **Sifat - Sifat Perkerasan Lentur (Flexible Pavement).**

Perkerasan Lentur terdiri dari tiga lapis yaitu :

- Lapisan Atas/ Permukaan (Surface Course) ; lapisan campuran agregat dan aspal sebagai bahan pengikat.
- Lapisan Pondasi (Base Course) ; terdiri dari selapis agregat baik dengan aspal (bonded) ataupun tanpa aspal (unbond).
- Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course) ; terdiri dari satu lapis bahan berbutir kasar yang pada umumnya tidak menggunakan bahan pengikat.
- Tanah Dasar (Sub Grade), ketiga lapisan ini diletakan pada tanah dasar (subgrade) yang datar dan rata.

Perkerasan lentur ini diletakan pada tanah dasar (subgrade) yang rata dan padat. Bersifat Fleksibel (tidak kaku) karena nilai modulus elastisitasnya (E) tidak terlalu tinggi ( $+ 10.000 \text{ Kg/m}^2$ ), sehingga penyebaran roda lalu — lintas olehnya ke tanah dasar tidak terlalu lebar/luas. Hal ini berakibat bahwa peranan daya dukung tanah dasar

menjadi sangat penting.

### **Sifat - Sifat Perkerasan Kaku (Rigid Pavement).**

Perkerasan Lentur terdiri dari tiga lapis yaitu :

- Lapisan Atas/ Permukaan (Surface Course) : Secara struktural (utama) terdiri dari satu lapis yang berupa selapis baton semen mutu tinggi ( $F_x = 45 \text{ Kg/m}^2$  atau K 375).
- Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course) ; tidak terlalu berperan sebagai struktur.
- Tanah Dasar (Subgrade).

Perkerasan ini bersifat kaku/rigid karena nilai modulus Elastisitasnya (E) cukup tinggi ( $+ 250.000 \text{ Kg/m}^2$ ), sehingga penyebaran beban roda lalu - lintas olehnya ketanah dasar cukup luas. Hal ini berakibat bahwa peranan daya dukung tanah dasar tidak terlalu penting, Yang penting adalah keseragaman kepadatan dan daya dukung tanah dasar ; karena perkerasan ini sangat peka terhadap penurunan (settlement) khususnya penurunan secara umum (Differential Settlement).

## **BAB IV. DASAR - DASAR TEORI PENYEBARAN TEGANGAN.**

### **4.1 Macam Teori Perencanaan Perkerasan.**

#### **1. Cara Empiris/Statistik :**

Cara penetapan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik - grafik, - tabel ataupun nomogram - nomogram yang telah dibuat berdasarkan hasil pengamatan/ percobaan di lapangan pada konstruksi perkerasan yang telah ada. (Full Scale).

#### **2. Cara Teori/Analitis:**

Perencanaan perkerasan berdasarkan pengetahuan tentang penyebaran beban/ tegangan, tanpa faktor - faktor korelasi tetapi dari pengamatan/ percobaan di lapangan (empiris).

Tebal perkerasan didapat dengan memberikan batasan (harga batas) lendutan, tegangan geser dll.

#### **3. Cara Semi Empiris/Semi Teoritis :**

Cara penetapan tebal perkerasan dimana digunakan teori penyebaran tegangan yang rumusnya disesuaikan dengan faktor - faktor koreksi dari hasil pengamatan/ percobaan di lapangan.

### **4.2 Rumus Empiris.**

#### **A. Berdasarkan Kias Jalan Dan Keadaan Tanah Dasar.**

Rumus ini dibuat berdasarkan pengalaman - pengalaman, kemudian dibuat rumus yang sederhana agar para perencana mudah menghitungnya.

Meskipun ada kesalahan prinsip mengenai bentuk rumusnya, ialah yang seharusnya fungsinya merupakan fungsi kwadrat (pangkat dua), dibuat menjadi bentuk linear (pangkat satu), namun hasilnya tidak seberapa beda dan masih cukup aman

mengingat keadaan lalu lintas pada waktu itu.

Rumus :

$$h = K_1 \cdot P \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

$h$  = Tebal perkerasan (cm)

$P$  = Klas Jalan (Ton).

$K_1$  = Suatu koefisien, yang tergantung keadaan tanah dasar Tebal perkerasan minimum = 12,50 cm.

**Tabel 4.1 Klas Jalan di Indonesia Yang Sekarang Masih Berlaku**

NO	Klas Jalan	Tekanan Gandar Tunggal
1.	Klas II	7 Ton
2.	Klas III	5 Ton
3.	Klas III	3,5 Ton
4.	Klas Ma	2,75 Ton
5.	Klas N	2 Ton
6.	Klas V	1,50 Ton

**Tabel 4.2 Nilai Koefisien K**

NO	Klasifikasi Tanah Dasar	Jenis Tanah Dasar	Nilai $K_1$
1.	Tanah Bagus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanah pasir berkerikil.</li> <li>Tanah pasir berbatu</li> </ul>	2½ (cm/ton)
2.	Tanah Pasir	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanah pasir</li> </ul>	5 (cm/ ton)
3.	Tanah Sedang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanah fiat atau silt</li> </ul>	7½ (cm/ton)
4.	Tanah Jelek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanah fiat atau silt mengandung tanah organik</li> </ul>	10 (cm / ton)
5.	Tanah Jelek Sekali	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanah rawa. Tanah lumpur</li> </ul>	-

**Contoh :**

Htunglah tebal perkerasan jalan kias II diatas tanah pasir.

(Tanah baik,  $K_1 = 5 \text{ cm/ton}$ ).

Penyelesaian :

Dari tabel 4.1. dan 4.2. diperoleh

nilai  $K_1 = 5 \text{ (cm / ton)}$  dan

$P$  untuk kias jalan II = 5 Ton, maka;

$$h = K_1 \cdot P = 5 \cdot 5 = 25 \text{ cm.}$$

**B. Berdasarkan Jumlah Tonase Kendaraan Yang Lewat Dan Keadaan Tanah Dasar.**

Perkembangan selanjutnya orang mulai sadar, bahwa tebal perkerasan sangat dipengaruhi oleh banyaknya kendaraan yang lewat. Sebagai contoh : sebuah ruas jalan yang dilewati oleh banyak kendaraan akan lebih cepat rusak dibandingkan dengan jalan lainyang dilewati oleh lebih sedikit kendaraan pada konstruksi dan berat kendaraan yang sama. Sehingga orang menganggap bahwa tebal perkerasan tergantung dari banyaknya/ jumlahnya tonase kendaraan yang lewat dalam satu hari satu malam (24 jam).

Maka kemudian dibuatlah rumus sebagai berikut :

$$h = K_2 \cdot \Sigma P \dots\dots\dots(4.2).$$

Dimana :

$h$  = Tebal konstruksi perkerasan dalam cm

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots\dots\dots + P_n$$

= Jumlah berat /tonase kendaraan yang lewat.

$K_2$  = Suatu koefsien dalam satuan (cm/ 100 Ton).

**Tabel 4.3 Nilai  $k_2$  Dan Tebal Minimum Perkerasan.**

No	KLASIFIKASI TANAH DASAR	Nilai $k_2$	Tebal Minimum Perkerasan
1.	Tanah Bagus	1 (cm/ 100 ton).	10 cm
2.	Tanah Pasir	2 (cm/ 100 ton)	20 cm
3.	Tanah Sedang	3 (cm/ 100 ton).	30 cm
4.	Tanah Jelek	4 (cm/ 100 ton)	40 cm
5.	Tanah Jelek Sekali	-	

Rumus tersebut berdasarkan keadaan lalu – lintas pada waktu itu dimana lalu lintas harian rata – rata (LHR – selama 24 Jam), baru mencapai maksimum 500 buah kendaraan dengan jumlah tonase maksimum  $\pm 1.500$  ton (dua jurusan). Tetapi setelah lalu – lintas menanjak dengan cepat LHR bisa mencapai ribuan, maka rumus tersebut tidak bisa dipertahankan lagi. Ini disebabkan adanya kesalahan prinsip dalam bentuk rumus tersebut ialah :

"Rumus tersebut adalah merupakan fungsi logaritmis parabolic, sehingga penyimpangannya akan segera menanjak bilamana lalu – lintas naik.

#### **4.3 Rumus Teoritis.**

##### **A. Perhitungan Tebal Perkerasan Dengan Metode Tanpa Saban Pengikat (Un – Bound Method).**

Pada metode tanpa bahan pengikat ini dianggap bahwa seluruh konstruksi perkerasan terdiri dari butiran – butiran lepas yang mempunyai sifat seperti lapisan lapisan pasir ialah meneruskan setiap gaya tekan keseluruhan penjuru dengan sudut rata – rata  $45^\circ$ , terhadap garis vertikal, sehingga penyebaran gaya tersebut merupakan bentuk kerucut dengan sudut puncak  $90^\circ$ . (lihat gambar 4.1.).

Melihat skema penyebaran gaya tersebut tampak bahwa bagian, perkerasan sebelah atas akan menderita tekanan paling besar. Tekanan ini makin kebawah semakin kecil karena penyebaran gaya semakin meluas sehingga pada tebal perkerasan tertentu (h),

tekanan dari atas sudah lebih kecil atau sama dengan daya dukung tanah dasar yang diperbolehkan atau

$$\sigma_a \leq \sigma_{tnh}$$

Dimana :

$\sigma_a$  = Tekanan dari atas akibat beban kendaraan

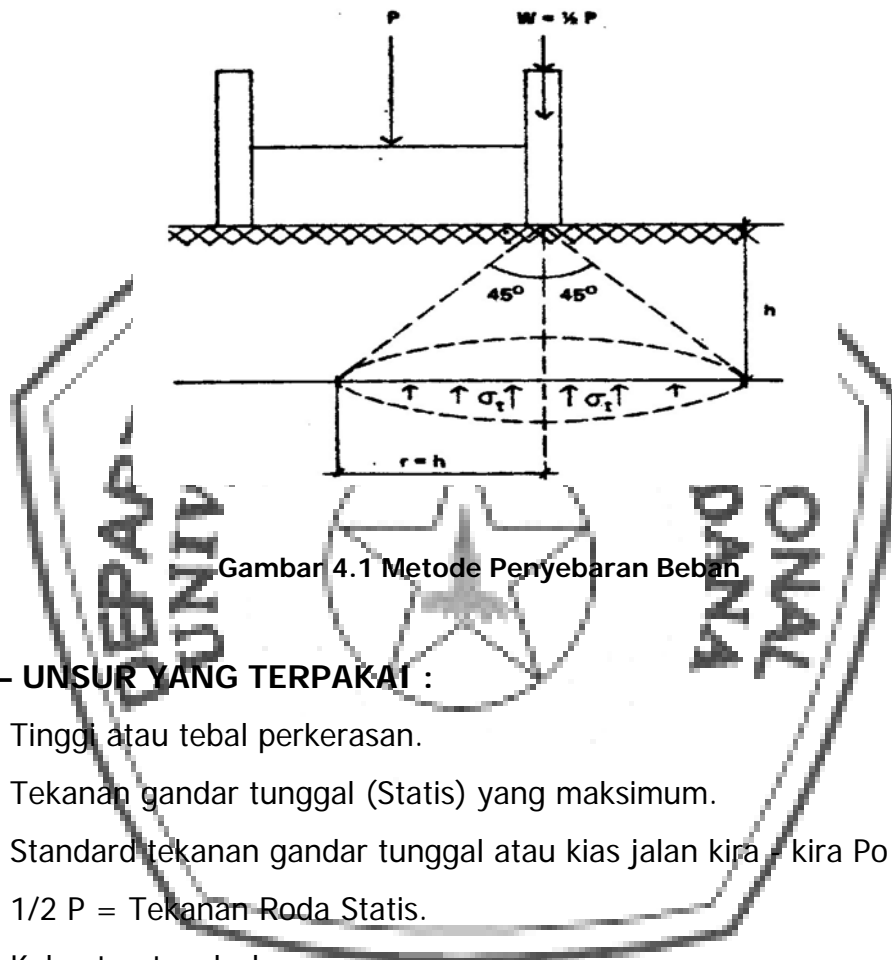
$\sigma_{tnh}$  = Daya dukung tanah dasar yang diperbolehkan.

Karena hal tersebut diatas dengan maksud untuk menghemat biaya konstruksi perkerasan dibuat berlapis - lapis (umumnya tiga lapis) dan tiap - tiap lapis dipilihkan bahan yang sesuai dengan tekanan yang dipikulnya.

Pada konstruksi perkerasan yang konvensional jumlah lapisan tersebut ada 3 buah ialah :

1. Lapisan teratas atau lapisan penutup (surface) dibuat dari beton aspal atau PC.
2. Lapisan tengah atau pondasi atas (base) dibuat dari batu pecah kualitas baik.
3. Lapisan bawah atau pondasi bawah (sub — base) dibuat dari batu pecah kualitas sedang atau dari sirtu (pasir campur batu).

Analisa lebih lanjut menurut sistem ini, meskipun konstruksi perkerasan dibuat dari lapisan yang berbeda — beda, penyebaran gaya dianggap rata — rata 45° dan muatan dari atas akan diteruskan sama rata kepada tanah dasar.



Gambar 4.1 Metode Penyebaran Beban

#### UNSUR — UNSUR YANG TERPAKAI :

$h$  = Tinggi atau tebal perkerasan.

$P$  = Tekanan gandar tunggal (Statis) yang maksimum.

$P_o$  = Standard tekanan gandar tunggal atau kias jalan kira-kira  $P_o = \frac{1}{2} P$ .

$W$  =  $\frac{1}{2} P$  = Tekanan Roda Statis.

$\sigma_t$  = Kekuatan tanah dasar.

$\gamma$  = Koefisien keamanan untuk kejutan dan untuk getaran - getaran karena lalu lintas.  $P$  dinamis =  $\gamma \cdot P$

Nilai  $\gamma$  ini berkisar antara 1,25 - 4,0 tergantung kepadatan lalu - lintas.

#### Hukum Keseimbangan

Gaya muatan dari atas karena  $W$  harus sama dengan gaya dukung dari tanah dasar karena  $\sigma_t$ .

$W$  = Luas daerah tekanan  $\times \sigma_t$

$\frac{1}{2} P = \pi \cdot r^2 \cdot \sigma_t$

$r = h$



Rumus Dasar I : 
$$h^2 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_t}$$

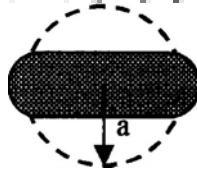
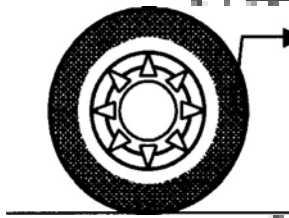
Karena P bergerak berkali – kali, maka P menjadi P dinamis =  $\gamma \cdot P$

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_t}}$$

## RUMUS DASAR II

Dalam rumus dasar II ini pengaruh luas bidang kontak antara roda karet dan muka jalan diperhitungkan.

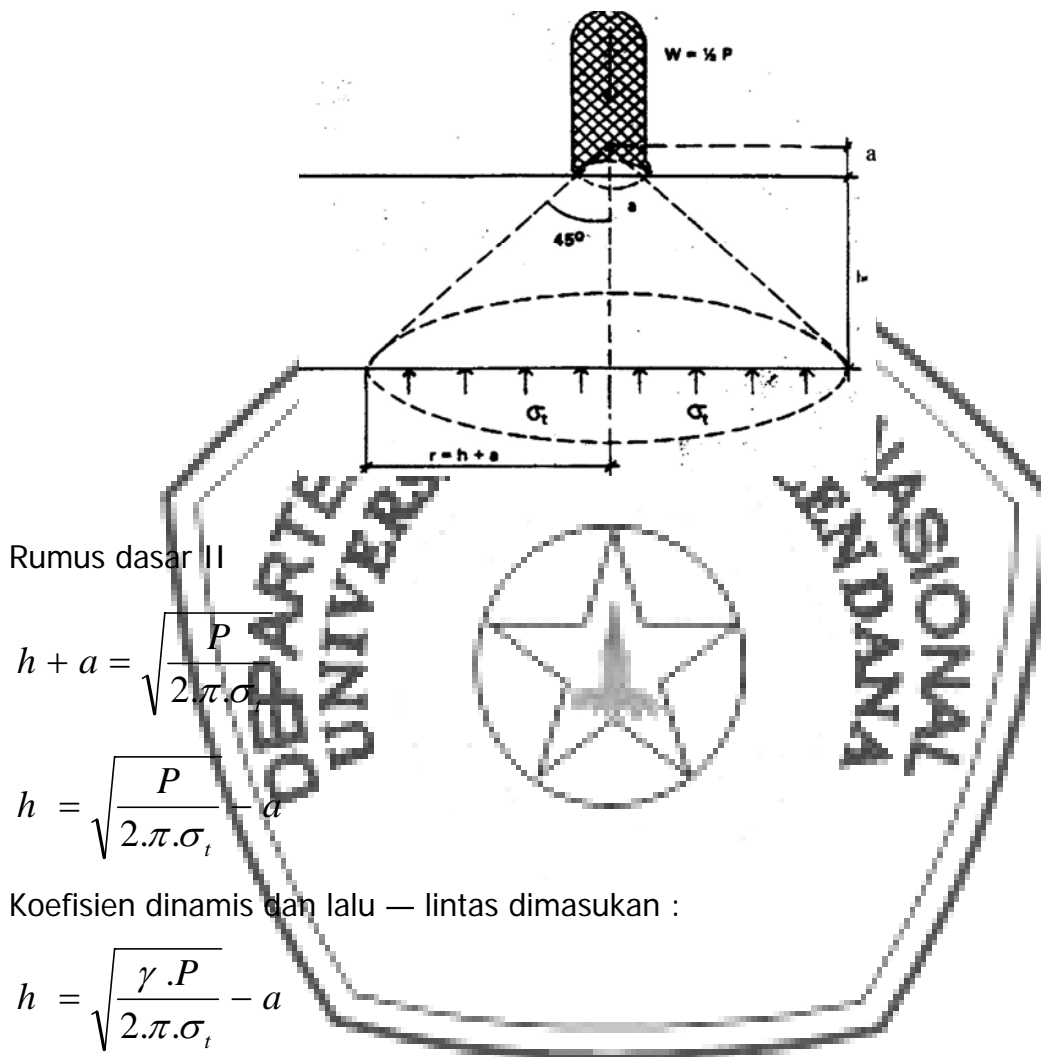
Jarak ban dari karet (gambar dilihat dari atas) Lingkaran yang luasnya equivalent dengan bidang kontak



Bidang kontak atau jejak ini merupakan bidang yang mendekati bentuk oval. Untuk memudahkan perhitungan bidang kontak atau jejak ini diganti dulu dengan suatu lingkaran dengan jari - jari a yang luasnya sama dengan luas jejak tadi.

Jari - jari a disebut jari - jari bidang kontak. Besarnya a tergantung dari w (tekanan roda), dan tekanan angin dalam ban karet. Dengan adanya bidang kontak ini seakan - akan titik tangkap W ditarik keatas (periksa gambar dibawah), sehingga

$$r = h + a.$$



Dalam merencanakan/ menghitung tebal perkerasan pada umumnya pengaruh bidang kontak ini tidak dimasukan, agar diperoleh konstruksi yang lebih aman, oleh karena itu umumnya dipakai rumus La. pengaruh bidang kontak (a) biasanya hanya dipergunakan untuk mengontrol kekuatan jalan dalam hal memberikan dispensasi kepada truk — truk yang ukuran beratnya melebihi kias jalan yang akan dilalui.

**B. Perhitungan Tebal Perkerasan Menurut Buku Polyteknik Indonesia Tahun 1950 - An**

Disini dipergunakan rumus 1 a. :

$$h = \sqrt{\frac{\gamma . P}{2 . \pi . \sigma_t}}$$

Dimana :

$\gamma$  = 4 (Sebetulnya untuk lalu lintas sangat padat).

$\sigma_t$  = 2 ( $\sigma_t$ ) (Daya dukung tanah yang diperbolehkan).

Sehingga didapat :

$$h = \sqrt{\frac{4 . P}{2 . \pi . 2 . (\sigma_t)}}$$

$$h = \sqrt{\frac{P}{\pi . (\sigma_t)}}$$

P disini adalah tekanan gandar tunggal maksimum yang mungkin terjadi. Bila P diganti dengan tonase Klas Jalan atau  $P_o$  (Standard Tekanan Gandar Tunggal), maka didapat :

$P_o = \frac{1}{2} P$  atau  $P = 2 . P_o$ , maka rumus menjadi :

$$h = \sqrt{\frac{2 . P_o}{\pi . (\sigma_t)}}$$

**Tabel 4.4 Daya Dukung Tanah Dasar Yang Diperbolehkan.**

No	Klasifikasi Tanah Dasar	Jenis Tanah	( $\sigma_t$ ) kg/ cm <sup>2</sup>
1.	Tanah bagus	▪ Tanah pasir batu dan berkerikil.	± 9,00
2.	Tanah baik	▪ Tanah pasir.	± 2,75
3.	Tanah sedang	▪ Tanah liat atau silt.	± 1,75
4.	Tanah jelek	▪ Tanah hancur atau silt mengandung tanah organik.	1,25
5.	Tanah jelek sekali	▪ Tanah rawa. ▪ Tanah Lumpur.	

**Contoh**

Tebal konstruksi perkerasan jalan Klas II (5 Ton) diatas tanah dasar yang baik ( $\sigma_t$ ) = 2,75 kg/cm<sup>2</sup>

Penyelesaian

$$h = \sqrt{\frac{2.P_o}{\pi.(\sigma_t)}}$$

Po = 5,0 Ton

$$h = \sqrt{\frac{2.5000}{\pi. 2,75}} = 34 \text{ cm}$$

Rumus 1.a. tersebut sesungguhnya adalah untuk lalu — lintas sangat padat. Untuk lalu - lintas jarang tebal konstruksi bisa diambil 50% nya dulu, untuk lalu - lintas sedang 70 % dan untuk lalu lintas padat 90 %nya.

### C. FAKTOR KEPADATAN LALU - LINTAS

Pada akhir tahun 50-an, awal tahun 60-an pengaruh kepadatan lalu lintas telah dimasukkan kedalam rumus yang ada, meskipun baru merupakan faktor/ koefisien.

Ana/1m

Diatas telah ditulis, bahwa beban lalu - lintas, kendaraan menimbulkan muatan/ beban berulang - ulang pada suatu tempat dipermukaan jalan. Secara teoritis beban berulang - ulang ini bila frekwensinya sama dengan frekuensi dari kelenturan penahan beban tersebut, maka penahan beban tersebut akan hancur atau dapat dikatakan akibat muatan berulang - ulang ini berarti memperbesar nilai muatan dinamis sampai besar tak terhingga.

Untuk menghitung tinggi konstruksi jalan, maka supaya aman pada lalu - lintas sangat padat koefisien kejut perlu diambil  $= 4 - \delta Y = 4$ .

Sedangkan pada lalu - lintas jarang koefisien kejut minimum diambil  $= 1,25 - \gamma_{\text{minimum}} = 1,25$ , untuk kepadatan lalu - lintas lainnya, kemudian diambil interpolasi saja.

Lalu - lintas Sangat Padat  $= 3,085 - 4,00$ .

Lalu - lintas Padat  $= 2,170 - 3,085$ .

Lalu - lintas Sedang  $= 1,25 - 2,170$ .

Lalu - lintas Jarang  $= 1,25$

Berdasarkan anggapan tersebut diatas, maka akan didapat rumus - rumus seperti berikut :

- Bila  $(at)$  sebagai patokan.
- $h$  dalam cm.
- $P$  dalam ton.
- $(\sigma t) = 1/2 \sigma t$  dalam  $(\text{kg}/\text{cm}^2)$ .
- Dipakai rumus dasar I.a

a). untuk lalu - lintas sangat padat .

$$h = \sqrt{\frac{P}{2.\pi.\sigma_t}} = \sqrt{\frac{4.1000.P}{2.\pi.2.(\sigma_t)}} = 17,9 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

b). untuk lalu — lintas padat .

$$h = \sqrt{\frac{P}{2.\pi.\sigma_t}} = \sqrt{\frac{3,085.1000.P}{2.\pi.2.(\sigma_t)}} = 15,7 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

c). untuk lalu — lintas sedang .

$$h = \sqrt{\frac{P}{2.\pi.\sigma_t}} = \sqrt{\frac{2,175.1000.P}{2.\pi.2.(\sigma_t)}} = 13,2 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

d). untuk lalu — lintas jarang .

$$h = \sqrt{\frac{P}{2.\pi.\sigma_t}} = \sqrt{\frac{1,25.1000.P}{2.\pi.2.(\sigma_t)}} = 10 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

Harga dari  $(\sigma_t)$  bisa dipergunakan daftar untuk berbagai jenis tanah. P disini masih merupakan  $P_{max}$ . Kalau mau disesuaikan dengan Klas jalan atau P standard, maka P harus diganti dengan  $P = 2.P_o$ .

$P_o$  = Klas jalan dalam Tonase.

= Tekanan gandar tunggal standard.

Terdapat:

Berdasarkan tonase klas jalan atau standard single axle load setelah diadakan sedikit pembulatan :

a. Untuk lalu — lintas sangat padat .

$$h_a = 26,5 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

b. Untuk lalu — lintas padat .

$$h_b = 22 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

c. Untuk lalu — lintas sedang .

$$hb = 19 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

d. Untuk lalu — lintas jarang .

$$hb = 14 \sqrt{\frac{P}{(\sigma_t)}}$$

#### D. Sistem CBR.

Pada saat sekarang ukuran kekuatan tanah ( $\sigma_t$ ) sudah ditinggalkan dan umumnya menggunakan sistem CBR atau California Bearing Ratio. Sistem ini diciptakan oleh korp insinyur Amerika Serikat untuk dipergunakan oleh tentara zeni Amerika pada waktu perang dunia ke II, agar mudah dipahami oleh orang awam (dalam hal keteknikan) dan mudah dihitung.

Prinsipnya adalah sederhana yaitu

Perkerasan dari batu pecah berbutir rapat kekuatannya dimana dengan 100 % sedangkan Lumpur dinilai dengan 0 %. Kemudian diadakan nilai untuk berbagai jenis tanah dan perkerasan.

Alat untuk mengukur CBR tanah juga sangat sederhana ialah dengan penetrometer, seperti yang sekarang sudah sangat meluas pemakaiannya. Jadi untuk menentukan kekuatan tanah sangat mudah dan cepat, sedangkan bila dipergunakan  $\sigma_t$ , maka harus diperlukan percobaan pembebanan yang cukup sukar dan memakan waktu lama.

Hubungan antara CBR dan Modulus Elastisitas Dari Tanah Dan Tegangan Tanah ( $\sigma_t$ ).

Rumus Umum :

$$\sigma_t = \epsilon \cdot E$$

$\epsilon$  = epsilon (adalah suatu konstanta).

Menurut Yeuffroy's  $\varepsilon = 0,008$  ini yang lazim dipakai.

Menurut Acun dan Fox's :  $\varepsilon = 0,006$  ini jarang dipakai untuk konstruksi jalan. Menurut Heukelom nilai E ialah :

$$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = \pm 110 \text{ CBR (\%)}.$$

Menurut Damon nilai E ialah

$$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = \pm 100 \text{ CBR (\%)}.$$

Menurut percobaan laboratorium nilai E berkisar antara  $E = 50 @ 200 \text{ CBR}$ .

Tetapi untuk tanah cukup diambil :  $E = 100 \cdot \text{CBR}$

Sedangkan  $\varepsilon$  diambil :  $\varepsilon = 0,008$

Sehingga terdapat

$$\sigma_t = \varepsilon \cdot E$$

$$\sigma_t = 0,008 \cdot 100 \text{ CBR}$$

$$\sigma_t = 0,8 \cdot \text{CBR}$$

Harga  $\sigma_t$  dimasukan kedalam rumus Ia.

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_t}}$$

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot \text{CBR}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{1,6 \cdot \pi \cdot \text{CBR}}}$$

Bila nilai untuk berbagai macam kepadatan lalu - lintas dimasukan kedalam rumus, maka setelah diadakan sedikit pembulatan diperoleh :

- Untuk lalu - lintas sangat padat

$$h_a = 28 \sqrt{\frac{P}{\text{CBR}}}$$

- Untuk lalu - lintas sedang

$$h_a = 25 \sqrt{\frac{P}{\text{CBR}}}$$



- Untuk lalu - lintas sedang

$$ha = 20\sqrt{\frac{P}{CBR}}$$

- Untuk lalu — lintas jarang

$$ha = 16\sqrt{\frac{P}{CBR}}$$

Satuan :

H dalam cm

P dalam Ton Dan CBR dalam %

Bila : P dihitung dengan standard single axle load  $P = 2.P_0$  ( $P_0$  = tonase kias jalan), terdapat :

- Untuk lalu — lintas sangat padat

$$ha = 40\sqrt{\frac{P_0}{CBR}}$$

- Untuk lalu — lintas padat

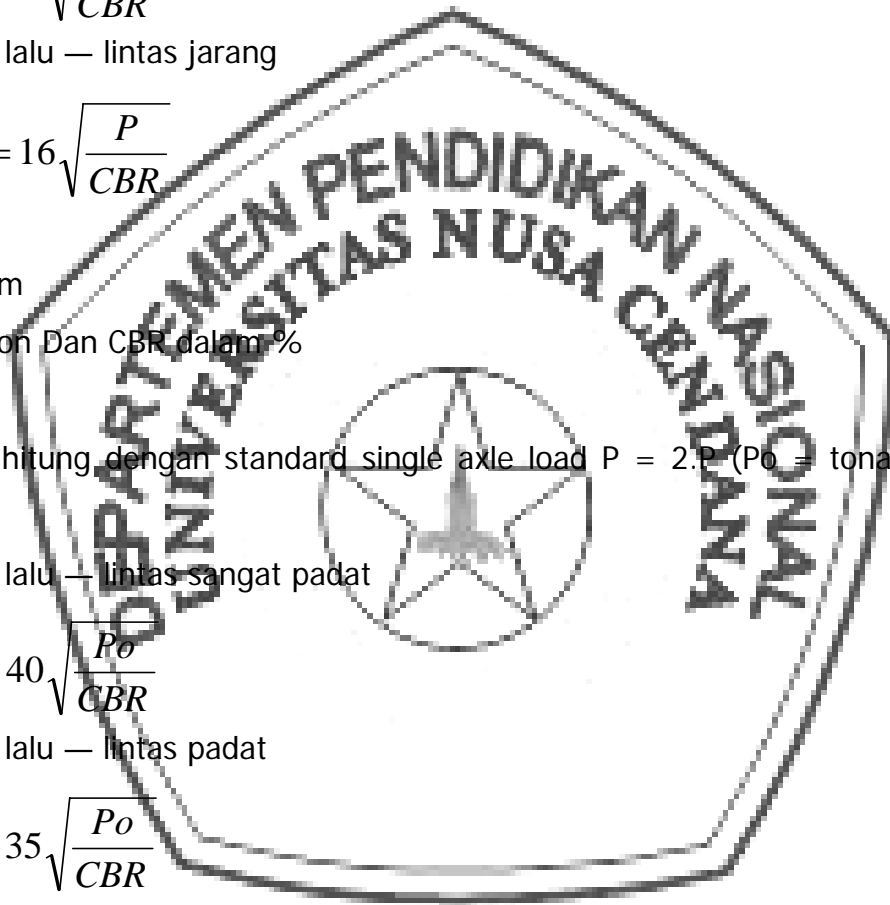
$$ha = 35\sqrt{\frac{P_0}{CBR}}$$

- Untuk lalu — lintas sedang

$$ha = 29\sqrt{\frac{P_0}{CBR}}$$

- Untuk lalu — lintas sedang

$$ha = 22\sqrt{\frac{P_0}{CBR}}$$



**Tabel 4.5. Tebal Minimum Perkerasan & Aspalan Menurut Asphalt Institute Tahun 1960-an.**

Klasifikasi Lalu Lintas	Kepadatan Lalu Lintas Max Perjalur Per Hari		Tebal Minimum Aspalan	Tebal Aspal Beton Yang Dianjurkan
	Kend < 3 Ton Perhari	Kend > 3 Ton Perhari		
LL Sangat padat	Tak terbatas	Tak terbatas	25 cm	± 10 cm
LL padat	Tak terbatas	250	20 cm	± 7,5 cm
LL sedang	500	25	15 cm	± 7,5 cm
LL jarang	25	5	12,5 cm	± 5 cm

Tempat pemberhentian bus umum dan tempat parkir.

1. Tempat Pemberhentian Bus Umum.

- Pada jalan lalu lintas jarang dan sedang tebal konstruksi harus dibuat sama dengan jalan LL padat.
- Pada jalan lalu lintas padat dan sangat padat tebal konstruksi harus dibuat sama dengan jalan lalu — lintas sangat padat.

▪ Tempat Parkir mobil/ Truk Dan Bus.

- Tempat parkir untuk kendaraan ringan (< 3 Ton) tebal konstruksi dihitung sama dengan jalan lalu lintas ringan.
- Tempat — tempat parkir dimana kecuali kendaraan — kendaraan ringan juga diizinkan untuk kendaraan lebih berat (> 3 Ton), maka tebal konstruksi disamakan dengan jalan lalu lintas sangat padat.

**Contoh Perhitungan Perkerasan Berdasarkan Sistem CBR**

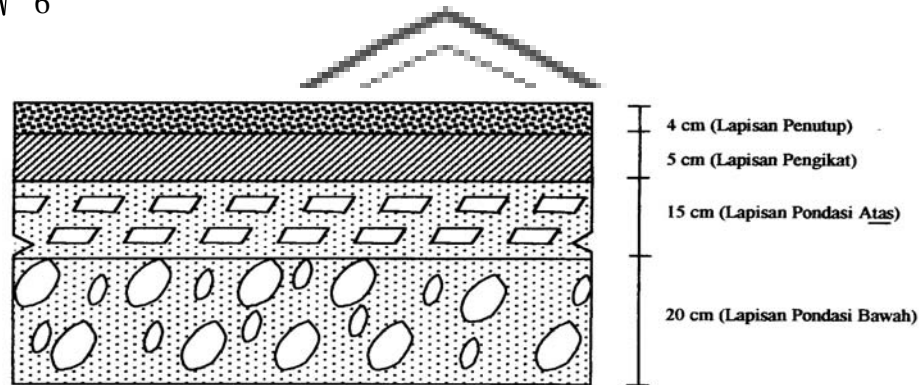
Jalan El Tari I Kupang direncanakan untuk jalan kelas I dengan muatan gandar maksimum 14,5 Ton dengan Lalu - lintas sangat padat.

CBR tanah liat/ pasir laut yang dipadatkan untuk tanah dasar diambil 6 %.

Penyelesaian :

$$h_a = 28 \sqrt{\frac{P}{CBR}}$$

$$ha = 28 \sqrt{\frac{14,5}{6}} = \pm 43,5 \text{ cm} = \pm 44 \text{ cm}$$



Gambar 4.1 Rencana Konstruksi Perkerasan

- Lapisan Penutup (Surface Course) dari aspal beton (Stab. Marshall > 1500 Ponds).
- Lapisan Pengikat (Binder Course) dari aspal beton (Stab. Marshall > 800 Ponds).
- Lapis Pondasi Atas (Base Course) dari Batu Pecah (CBR > 80 %).
- Lapis Pondasi Bawah dari Material Pilihan Batu Pecah (CBR > 20 %).

### E. Faktor Lalu Lintas.

Pada perhitungan - perhitungan di depan pengaruh kepadatan lalu - lintas hanya dihitung secara kasar saja ialah dengan mengklasifikasikan kepadatan lalu - lintas. Perkembangan selanjutnya cara ini dipandang terlalu kasar dan kurang tepat. Kemudian timbul pemikiran bagaimana caranya memasukan angka lalu - lintas kedalam rumus tebal perkerasan. Untuk hal ini Kerkhoven Dan Dormon menampilkan rumus tekanan yang timbul akibat muatan berulang - ulang sebagai berikut :

Bila muatan tidak berulang menurut hukum Hooke :

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

Bila muatan berulang - ulang menurut Hukum Hooke menjadi :

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot E}{1 + 0,7 \log n}$$

Rumus terakhir ini yang nantinya dipergunakan untuk koefisien dinamis  $\gamma$ . Sekarang timbul masalah lagi adalah bahwa angka ulangan  $n$  tersebut adalah jumlah ulangan beban tiap satuan waktu. Sedangkan dalam kenyataan lalu - lintas yang melewati suatu ruas jalan mempunyai tekanan gandar yang tidak tetap. Untuk mengatasi hal ini perlu setiap jenis kendaraan diekivalenkan terlebih dahulu terhadap Klas jalan atau  $P_o$  yang ditetapkan. Oleh karena itu nantinya pada bagian belakang akan kita temui istilah - istilah sebagai berikut :

$e$  = Angka atau nilai ekivalen lalu — lintas.

$u$  = Umur rencana adalah umur jalan yang direncanakan.

LHR = Lalu — lintas harian rata — rata sebelum diekivalenkan terhadap  $P_o$ .

LE = Lalu lintas ekivalen ialah LHR yang telah diekivalenkan terhadap  $P_o$ .

LEP = Lalu — lintas ekivalen permulaan adalah LE pada awal umur rencana (pada saat jalan dibuka untuk umum).

LEA = Lalu — lintas ekivalen akhir adalah LE pada akhir umur rencana.

LEH = Lalu lintas ekivalen yang diperhitungkan ialah LER yang telah dikoreksi dengan faktor umur rencana atau dan faktor regional ( $L_o$ ).

Cara memasukan nilai  $n$  dalam rumus adalah sebagai berikut : Menurut Kerkhoven Dan Domion :

Pada muatan tidak berulang :

$$\sigma_t = \varepsilon \cdot E$$

Pada muatan titik berulang n kali :

$$\sigma_t = \frac{\varepsilon \cdot E}{1 + 0,7 \log n}$$

Rumus ini dimasukan ke Rumus I.

$$h = \sqrt{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_t}}$$

Akibat muatan berulang :

$$h = \sqrt{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{\varepsilon \cdot E}{1 + \log n}}}$$

$$Ib. \quad h = \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n) \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot E}}$$

Dari rumus Ia

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_t}}$$

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \sigma_t}}$$

Bila rumus Ia dibandingkan dengan rumus Ib tampak bahwa :

$$\gamma = 1 + 0,7 \log n$$

y = Koefisien beban dinamis (angka keamanan dinamis dan berulang).

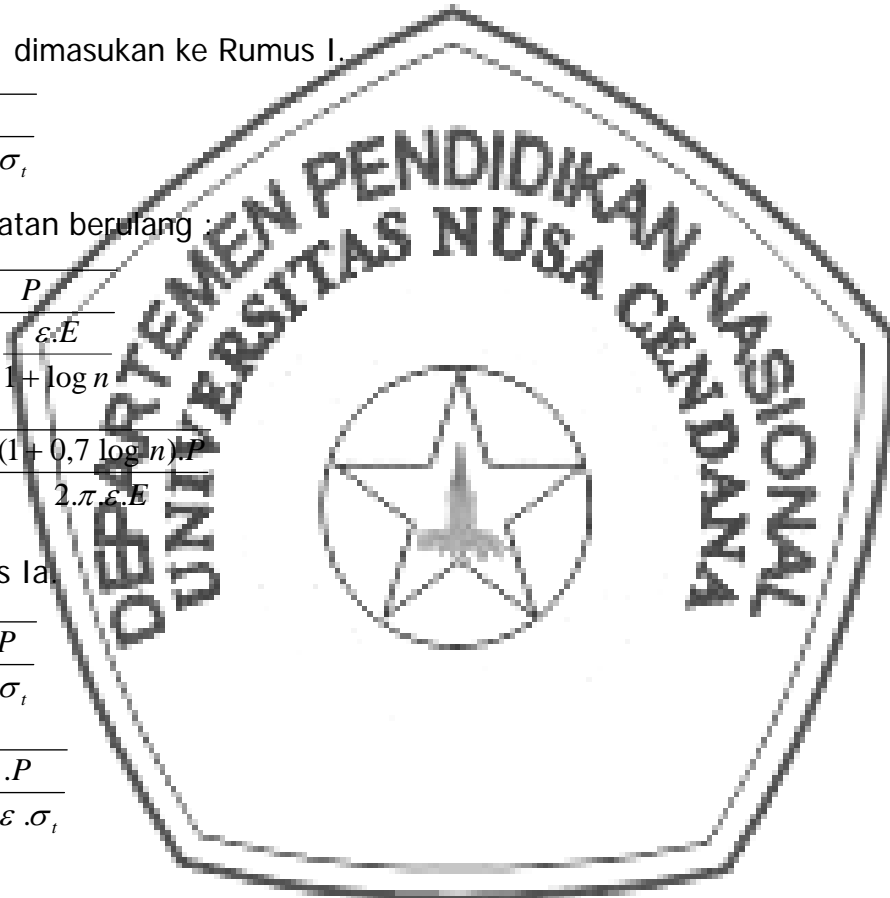
Seterusnya :

$$\sigma_t = \varepsilon \cdot E = 0,008 \cdot E = 0,8 \cdot CBR$$

Dimasukan kedalam rumus Ib.

$$h = \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n) \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot CBR}}$$

$$h = 14 \sqrt{\frac{P \cdot (1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$



P disini adalah Pmax kalau dijadikan Po (Tonase Klas Jalan) maka :

$$P = 2. Po$$

$$h = 14 \sqrt{\frac{2.Po.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

### Rumus Dasar III

$$h = 20 \sqrt{\frac{Po.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

Di Amerika dan beberapa Negara lainnya umumnya nilai Po = ± 8 Ton.

$$h = 20 \sqrt{\frac{8.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

$$h = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

Di Indonesia ada bermacam - macam Tonase Klas Jian seperti diterangkan di depan, tetapi yang terpenting hanya ada 3 yaitu : 7 Ton, 5 Ton dan 3,5 Ton. Untuk Klas Jalan I (7 Ton).

$$h = 20 \sqrt{\frac{7.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

IIIa.

$$h = 53 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

Untuk Klas Jalan II (5 Ton).

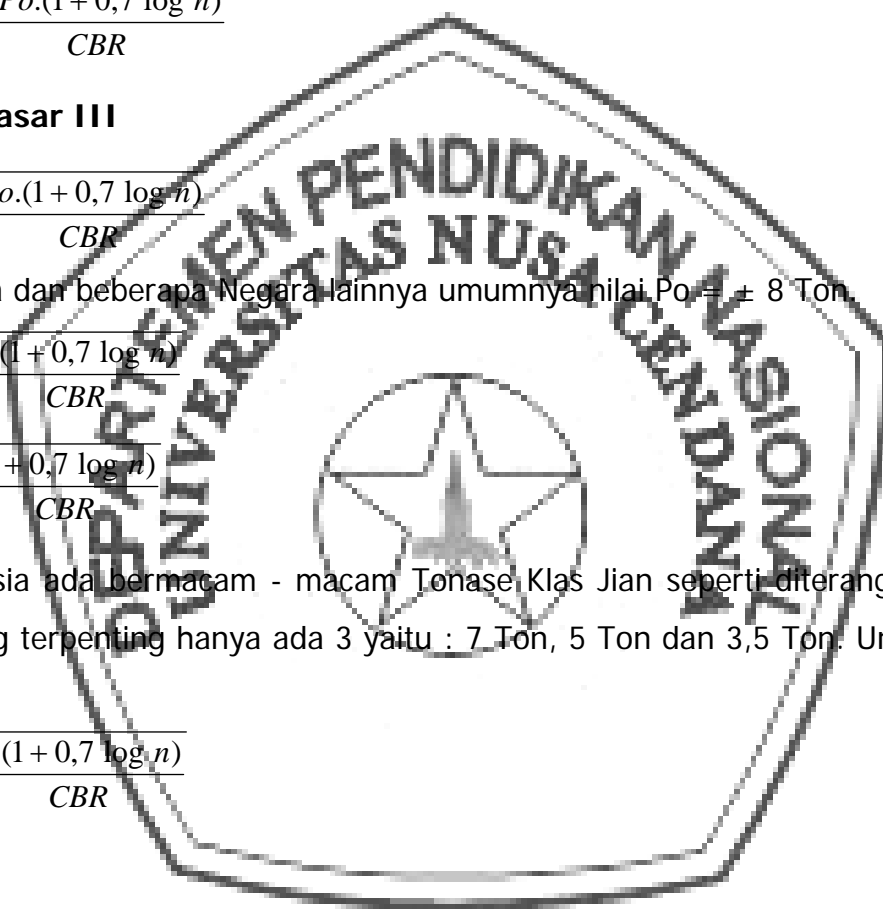
$$h = 20 \sqrt{\frac{5.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

IIIb.

$$h = 45 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

Untuk Klas Jalan III (3,5 Ton).

$$h = 20 \sqrt{\frac{3,5.(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$



IIIc.

$$h = 37,5 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$$

**Tabel 4.6 Klasifikasi Nilai n**

No Kode	Klasifikasi Lalu - Lintas	Nilai n
a	Lalu – lintas sangat padat	> 1000
b	Lalu – lintas padat	100 – 1000
c	Lalu – lintas sedang	10 – 100
d	Lalu – Lintas jarang	1 - 10

Bila dicocokkan dengan nilai  $\gamma$  yang dulu :  $\gamma = 1 + 0,7 \text{ Log}.n$

**Tabel 4.7. Pencocokan Nilai  $\gamma$**

No Kode	Klasifikasi Lalu - Lintas	Nilai n maks	$\gamma$ Yang Sekarang (1 + 0,7 Log n)	$\gamma$ Yang Dulu
a	Lalu – lintas sangat padat	10.000	3,8	4
b	Lalu – lintas padat	1000	3,1	3,085
c	Lalu – lintas sedang	100	2,4	2,170
d	Lalu – Lintas jarang	10	1,7	1,25

Tampak perbedaannya tidak terlalu mencolok.

### E. Nilai Ekuivalen Lau Lintas (e)

Keadaan sesungguhnya kendaraan - kendaraan yang lewat disebuah jalan mempunyai ukuran gandar yang bermacam — macam. Ini semua harus diekivalenkan dengan ukuran gandar standard sesuai dengan Tonase kendaraan. Kendaraan dengan ukuran gandar = Po sekali lewat dihitung  $n = 1$  Kendaraan dengan ukuran gandar = Pi lewat sekali nilai n tidak sama dengan 1 dan juga tidak sama dengan  $((P1/Po) \times 1)$ ,

melainkan lebih besar dari nilai tersebut.

### Perhitungan Nilaa n Secara Empiris,

Menurut hasl penyelidikan efek dari kendaraan dengan ukuran gandar P1 dibandingkan dengan Po untuk sekali lewat ialah :

$$e = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^x$$

Nilai x ini tergantung dari keadaan permukaan jalan. Keadaan permukaan jalan menentukan kecepatan kendaraan. Keadaan permukaan jalan ini disebut service ability (kemampuan) (p) yang diberi nilai/ angka.

Aspal baru yang bagus dan rata diberi nilai sekitar 5 sesuai dengan umur jalan tersebut nilai ini makin hari makin kecil.

Untuk jalan raya lalu - lintas cepat service ability minimum diambil 2,5 (jalan - jalan utama). Untuk jalan dengan lalu lintas sedang serviceability diberi nilai p = 2 (jalan - jalan raya biasa).

Makin kecil nilai p, permukaan berarti semakin tidak rata dan nilai x semakin besar.

Menurut Hasil Penyelidikan :

Untuk p = 2 nilai kira - kira : x = ± 3,5.

Untuk p = 2,5 nilai kira - kira : x = ± 3

Untuk jalan raya biasa (p = 2).

$$e = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{3,5}$$

Untuk jalan - jalan utama (p = 2,5).

$$e = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{3,0}$$

Misal : Nilai e untuk mobil sedan (± 2 Ton) dan Truk (± 7 Ton) di Jalan Klas I (7 Ton) untuk kecepatan biasa :

$$e = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{3,0} = \left( \frac{2}{7} \right)^{3,0} = \pm (0,3)^{3,0} = 0,009$$



Tampak bahwa pengaruh mobil sedan di jalan Klas I kecil sekali. Kira - kira 100 mobil sedan hampir sama dengan truk ukuran gandar 7 Ton. Oleh karena itu dalam menghitung tebal konstruksi jalan-jalan di luar kota, dimana truk dan bus meliputi antara 40 - 70 %, maka pengaruh lalu - lintas mobil - mobil sedan bisa diabaikan.

Jodi L.H.R. atau A.D.T. ( Average Daily Traffic ) yang diperhitungkan hanya dari truk dan bus saja. Kecuali untuk jalan dalam kota - kota besar dimana mobil - mobil sedan menguasai hampir 70 - 80 % dari L.H.R. maka pengaruh mobil sedan baru diperhitungkan.

Dalam rumus diatas L.E.R. (Lalu liners Ekvivalen Rencana ) adalah untuk satu "lajur " atau "lane " artinya satu lajur untuk satu deret mobil. Lebar tiap lajur atau lane berkisar antara 2,5 - 3,75 m tergantung klas jalan.

Jalan-jalan diluar kota minimum terdiri dan 2 lajur ( 6 a' 7 m) untuk 2 jurusan. Batas - batas lajur untuk jalan-jalan datum kota biasanya ditandai dengan cat/garis putih terputus - putus.

Oleh karena itu L.H.R. yang akan diekivalenkan menjadi L.E R. (n) harus diambil untuk satu lajur saja. Adapun caranya bisa mempergunakan daftar di bawah ini.

NO .	L.H.R. DUA JURUSAN SELOUH JALUR YANG TERDIRI DARI	L.H.R. YANG DI PERHITUNGAN UNTUK 1 LAJUR ( LANE ) .	BUS DAN TRUK YANG DI PERHITUNGAN , UNTUK 1 LAJUR
1.	2 lajur	80 %	50 %
2.	4 lajur	75 %	45 % (35 - 48%)
3.	6. lajur	70 %	40 % (25 - 48%)

Tingkat Pelayanan (Service Ability) p.

P = 5 bagus (excellent )

P = 4 baik ( good )

P = 3 cukup ( fair )

P = 2 jelek ( poor )

P = 1 jelek sekali ( very poor )

Untuk jalan raya biasa diambil batas p = 2

Untuk jalan raya utama diambil batas p = 2,5

Faktor equivalent untuk standard gandar tunggal 8 ton

Untuk p = 2

$$n = \left( \frac{P}{Po} \right)^{3.5}$$

NO.	KELOMPOK UKURAN KENDARAAN (TONASE)	GANDAR TUNGGA (N )	GANDAR KEMBAR (TANDEM) (N )
1.	Mobil penumpang	0,0002	-
2.	0,90 – 3,80	0,006	-
3.	3,80 – 7,25	0,18	0,02
4.	7,25 – 9,00	1,-	0,08
6.	9,00 – 11,00	2,36	0,17
6.	11,00 - 13,50	6,80	0,42
7.	13,60 - 15,40	12,0	0,83

Faktor equivalent untuk standard gandar tunggal (8 ton ). Untuk  $p = 2,5$

$$n = \left( \frac{P}{P_o} \right)^{3,5}$$

(periksa daftar berikut)

NO.	KELOMPOK UKURAN KENDARAAN (TONASE)	GANDAR TUNGGAL (N)	GANDAR KEMBAR (TANDEM) (N)
1.	Mobil pemumpang	0,0002	-
2.	0,90 - 3,80	0,006	-
3.	3,80 - 1,25	0,20	0,02
4.	7,25 - 9,00	1,00	0,09
5.	9,00 - 11,00	2,20	0,21
6.	11,00 - 13,50	5,00	0,50
7.	13,50 - 15,40	9,20	0,87

Cara perhitungan diatas adalah cara pendekatan secara empiris yang berlaku untuk segala macam rumus tebal parkerasan. Adapun cara perhitungan secara analitis theoretis adalah seperti uraian berikut ini.

#### F. Nilai ekivalen lalu - lintas (e) dihitung secara analitis theoretis.

Keadaan sesungguhnya kendaraan yang lewat terdiri dari bermacam-macam Gandar ( $P_i$ ). Pengaruh  $P_i$  ini harus diekivalenkan terhadap  $P_o$  (tekanan tunggal standar).

Analisa :

Misalkan  $P_i$  dengan  $n$  kali lewat pengaruhnya sama dengan  $P_o$  dengan  $e.n$  kali lewat.

Jadi :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_i \cdot (1 + 0,7 \cdot \log n)}{CBR}} = 20 \sqrt{\frac{P_o \cdot (1 + 0,7 \cdot \log e.n)}{CBR}}$$

$$P_i \cdot (1 + 0,7 \cdot \log n) = P_o \cdot (1 + 0,7 \cdot \log e.n)$$

$$\text{Log } e = \frac{\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right) \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } n)}{0,70}$$

$$e = \text{anti log } \frac{\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right) \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } n)}{0,70}$$

Tampak bahwa untuk  $P_i/P_o$  tetap maka  $e = f(n)$ .

Grafik :

Berdasarkan rumus diatas :

$$\text{Log } e = \frac{\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right) \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } n)}{0,70}$$

$$\text{Log } e = \frac{\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right)}{0,70} + \left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right) \cdot \text{Log } n$$

Bila :

$$\text{Log } e = y$$

$$\text{Log } n = x$$

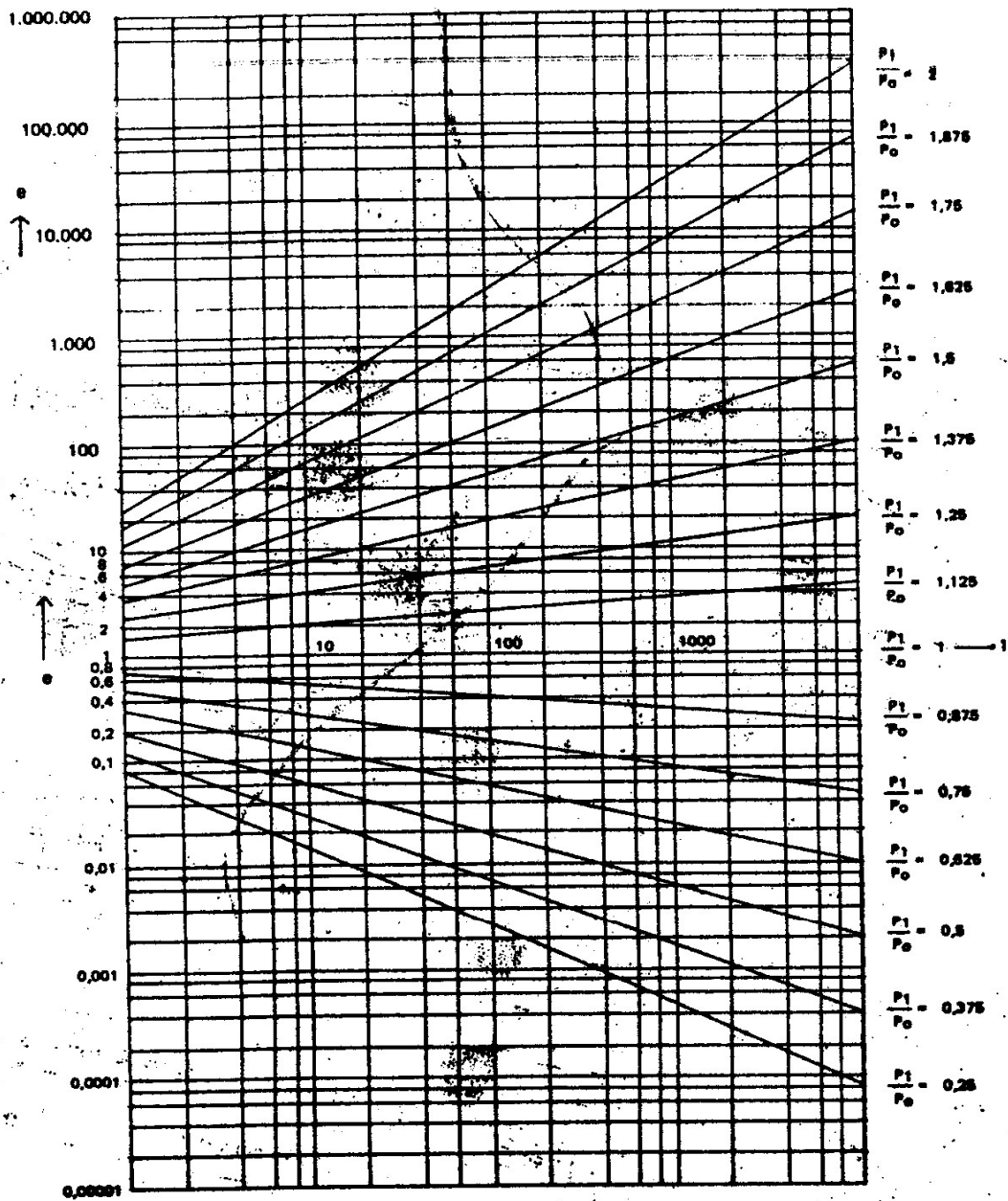
$$\frac{\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right)}{0,70} = a$$

$$\left(\frac{P_i}{P_o} - 1\right) = b$$

Maka persamaan diatas menjadi

$Y = a + b \cdot x$  (Fungsi linear).

Jadi bila sumbu  $e$  dan sumbu  $n$  dalam skala logaritmis, maka setiap harga  $P_i/P_o$  grafiknya akan merupakan garis – garis lurus (periksa grafik terlampir).

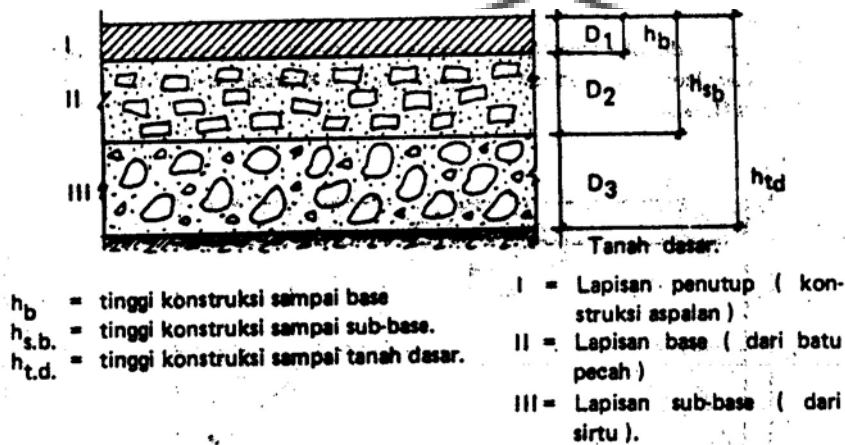


Grafik nilai ekuivalen e untuk berbagai macam berat kendaraan  
berdasarkan Rumus Tinggi Konstruksi :  $h = \sqrt{\frac{P_0 (1 + 0,7 \log n)}{CBR}}$

$$e = \text{anti log } \frac{\left(\frac{P_1}{P_0} - 1\right) (1 + 0,7 \log n)}{0,7}$$

### Menghitung Tebal lapisan – lapisan $D_1$ , $D_2$ dan $D_3$ .

Konstruksi perkerasan umumnya terdiri dari 3 lapisan seperti tergambar :



Rumus – rumus :

$$a). \quad h_b = D_1 = 20 \sqrt{\frac{Po.(1+0,7.\log n)}{CBR_{base}}}$$

$$b). \quad h_{sb} = D_1 + D_2 = 20 \sqrt{\frac{Po.(1+0,7.\log n)}{CBR_{sub-base}}}$$

$$c). \quad h_{td} = D_1 + D_2 + D_3 = 20 \sqrt{\frac{Po.(1+0,7.\log n)}{CBR_{tanah\ dasar}}}$$

Dengan mempergunakan ketiga rumus ini bila mana  $P_o$ ,  $n$ , CBR base, CBR sub-base dan CBR tanah dasar ditentukan, maka  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$  bisa dicari dan untuk mempermudah perhitungannya bisa dipergunakan daftar berikut.

Yang perlu diingat ialah bahwa pada rumus-rumus tersebut diatas belum diperhitungkan faktor-faktor regional, atau dengan anggapan faktor regional sama dengan satu. Bilamana faktor-faktor regional ingin diperhitungkan, maka faktor lalu lintas  $n$  perlu diganti dengan  $n_o$  dimana .

$$n_o = \delta . \eta . n$$

Dimana :

$n_o$  = Lalu – lintas yang diperhitungkan.

$\delta$  = Faktor keadaan drainase setempat.

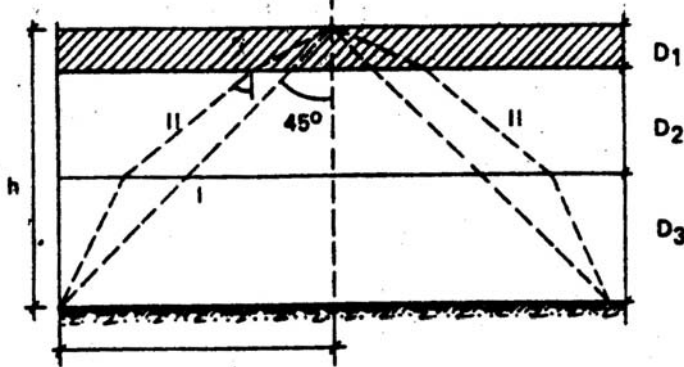
$\eta$  = Faktor curah hujan setempat.

$n$  = Lalu – lintas ekuivalen rencana.

#### 4.3 RUMUS ANALITIS YANG DENGAN BAHAN PENGIKAT (BOUND METHOD)

##### A. NILAI EKIVALEN TEBAL LAPISAN (a).

Analisa dimuka adalah suatu pendekatan dengan anggapan, bahwa penyebaran muatan lapisan bersudut  $45^\circ$  seperti garis I. Keadaan sesungguhnya adalah seperti garis II, ialah :



Jadi sesungguhnya ialah :

$$h = D_1 \cdot \tan \alpha_1 + D_2 \cdot \tan \alpha_2 + D_3 \cdot \tan \alpha_3.$$

Bila :  $h = h_{\text{equivalent}} = h_{\text{eq}}$

$$\tan \alpha_1 = a_1$$

$$\tan \alpha_2 = a_2$$

$$\tan \alpha_3 = a_3$$

Rumus menjadi :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

Tinggi ekivalen atau  $h_{eq}$  ini diambil dari rumus analistis didepan :

$$h_{eq} = 20 \sqrt{\frac{Po.(1 + 0,7 \cdot \log h)}{CBR}}$$

Jadi  $h$  sesungguhnya ialah :  $h = D_1 + D_2 + D_3$  tidak same dengan  $h_{eq}$  melainkan bin menjadi lebih kecil tergantung dad nilal  $a_1$ ,  $a_2$ , den  $a_3$ , jadi tergantung dari kualitas bahan-bahan aspalan, base dan sub-base. Bila sama perkeraan dibuat dari aspal beton semua  $h = D$ , maka :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + 0 + 0.$$

$$h_{eq} = h \cdot a_1$$

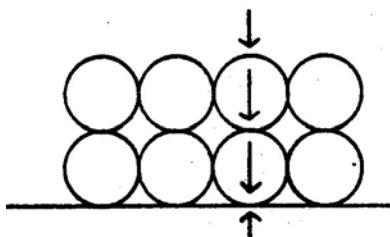
Konstruksi jenis ini disebut Full Depth Asphalt Pavement atau konstruksi perkerasan aspal beton penuh.

Nilai dari  $a = \tan \alpha$

Untuk memudahkan pengertian mengenai nilai  $a$  ini dipergunakan teori susunan butir yang sama ukurannya.

## B. Nilai Ekivalen Tebal Lapisan.

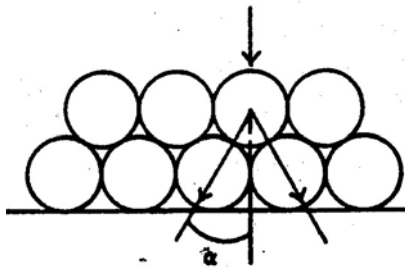
a. Susunan bola paling berongga.



- Bila bola – bola lapis kedua tepat diatasnya bola – bola lapis pertama seperti tergambar.
- Pada keadaan sepertin ini  $\alpha = 0$ , berarti tidak ada penyebaran gaya.



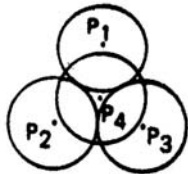
b. Susunan bola setengah rapat



- Bila bola – bola lapis pertama terletak diatas antara kedua bola – bola lapis kedua seperti tergambar.
- Pada keadaan seperti ini  $\alpha = 30^\circ$ , atau
- $\alpha = 30^\circ$
- $a = 0,577$

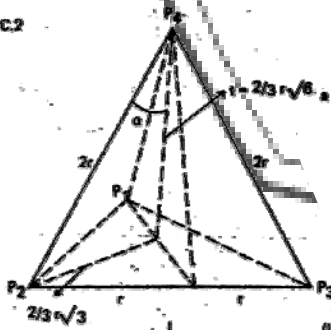
c. Susunan bola paling rapat

c.1



- Bila bola – bola lapis kedua diatas antara 3 buah bola dibawahnya (lihat gambar C1)
- $P_1, P_2, P_3$  dan  $P_4$  adalah pusat bola – bola yang dimaksud.
- Sudut penyebaran gaya =  $\alpha$

c.2

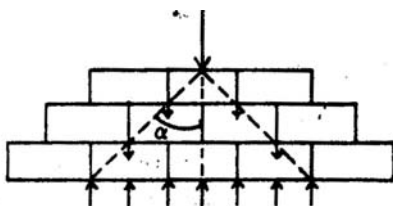


$$a = \operatorname{tg} \alpha$$

$$= \frac{\frac{2}{3} r \cdot \sqrt{3}}{\frac{2}{3} r \cdot \sqrt{6}} = \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

$$a = 0,707 \approx 0,7$$

c.3



- Pada  $C_3$  tumpukan batu – batu persegi

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\text{Jadi } a = \operatorname{tg} . 45^\circ = 1,0$$

d. Susunan bola paling rapat dengan bahan pengikat

Akibat adanya bahan pengikat, maka bola-bola  $P_1, P_2, P_3$  dan  $P_4$  bisa menarik bola-bola disampingnya agar ikut menekan kebawah, sehingga dengan demikian sudut penyebaran gaya menjadi lebih besaran nilai  $a = \operatorname{tg} . \alpha > 1$ . Besarnya nilai  $a$  ini

tergantung susunan batu bola-bola tersebut dan kekuatan bahan pengikatnya.

- Kejadian No. a diatas hampir tidak pernah terjadi, kecuali bila lapisan itu hanya terdiri dari 1 lapis hamparan bola-bola semacam single surface treatment. Sehingga penyebaran gays dianggap tidak ada.
- Kajadian No. b mungkin. terjadi bilamana bagian lembut (filler) yang mengisi rongga-rongga antara bola-bola tersebut terlalu banyak.
- Tetapi yang mungkin terjadi adalah antara b dan c. Jadi nilai a berkisar antara 0,55 - 0,7. Untuk Sub-base yang asalnya dari sirtu asli (tidak dipecah) yang gradasinya memenuhi syarat diberi nilai  $a = 0,7 - 0,8$  atau rata-rata 0,75 (Untuk CBR > 30). Tetapi yang tidak memenuhi syarat bisa turun menjadi  $a = 0,55 - 0,7$ .
- Base yang asalnya dari batu pecah dengan susunan butir yang rapat CBR > 80 dinilai :  $a = 1$ .
- Untuk aspal beton klas A, maka nilai a berkisar antara 2,8 - 3,3. Tetapi untuk keamanan hanya dinilai 2.
- Untuk aspal beton klas B nilai a berkisar antara 2 - 2,6. dalam praktek untuk keamanan hanya dinilai 1,5.
- Untuk aspal beton klas C nilai berkisar antara 1,5 - 2. Untuk keamanan hanya dinilai 1.

Kualitas aspal kelas A, B dan C yang bias menentukan hanya laboratorium.

### **Beberapa Contoh Kombinasi Konstruksi**

#### **Kombinasi :**

- Aspalan dari aspal beton kelas A tebal  $D_1$ .
- Base dari batu pecah CBR  $\geq 80$  tebal  $D_2$ .
- Sub – base dari sirtu CBR  $\geq 30$  tebal  $D_3$ .

Rumus :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

$$h_{eq} = D_1 \cdot 2 + D_2 + D_3 \cdot 0,75$$

### Kombinasi :

- Aspalan dari aspal beton kelas B tebal  $D_1$ .
- Base dari batu pecah CBR  $\geq 80$  tebal  $D_2$ .
- Sub – base dari sirtu CBR  $\geq 30$  tebal  $D_3$ .

Rumus :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3$$

$$h_{eq} = D_1 \cdot 1,5 + D_2 + D_3 \cdot 0,75$$

### Kombinasi :

- Aspalan dari aspal beton kelas C tebal  $D_1$ .
- Base dari batu pecah CBR  $\geq 80$  tebal  $D_2$ .
- Sub – base dari sirtu CBR  $\geq 30$  tebal  $D_3$ .

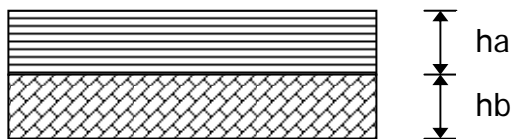
Rumus :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3$$

$$h_{eq} = D_1 + D_2 + 0,75 \cdot D_3$$

### B. Nilai $a$ dihitung secara analitis.

Menurut Odemark : Bila ada dua lapisan perkerasan masing masing dengan tebal  $h_a$  dan  $h_b$  , maka tinggi equivalent dari lapis atas dan bawah ialah :



$$h_{eq} = h_b + 0,9h_a \left[ \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{1 - \partial b^2}{1 - \partial a^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned} h_{eq} &= h_b + a \cdot h_a \\ &= h_b + h_a \cdot eq \end{aligned}$$

$$a = 0,9 \left[ \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{1 - \partial b^2}{1 - \partial a^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Karena  $E_a$  ,  $E_b$  berturut - turut adalah elastisitas modulus dari lapisan atas dan bawah, maka sesungguhnya rumus yang betul adalah sebagai berikut :

$$\frac{a_a}{a_b} = 0,9 \left[ \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{1 - \partial b^2}{1 - \partial a^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Atau :

$$\frac{a_1}{a_2} = 0,9 \left[ \frac{E_a}{E_b} \cdot \frac{1 - \partial b^2}{1 - \partial a^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Adapun :

$$\partial = \frac{\xi_{tarik}}{\xi_{tekan}},$$

Dimana :

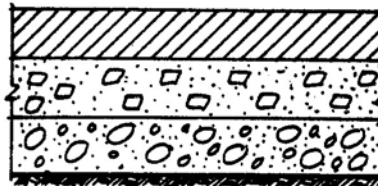
$$\xi = \frac{\sigma}{E}, \quad \text{atau} \quad \sigma = \xi \cdot E$$

- Untuk konstruksi perkerasan jalan dengan lapisan – lapisan :

Lapisan aspal beton (  $a_1$  dan  $E_1$  )

Base dari batu pecah (  $a_2$  dan  $E_2$  )

Sub - base dari Sirtu (  $a_3$  dan  $E_3$  )



- Untuk lapisan – lapisan tanpa bahan pengikat  $\varepsilon$  tarik adalah kecil mendekati nol  $\rightarrow$   $\partial$  bias diabaikan.
- Untuk lapisan yang dengan bahan pengikat aspal  $\varepsilon$  tarik cukup kecil jadi  $\partial$  cukup kecil. Tetapi  $\partial^2$  adalah kecil dan bias diabaikan.

Jadi nilai pendekatan dari perbandingan a adalah :

$$\frac{a_1}{a_2} = 0,9 \left[ \frac{E_a}{E_b} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{a_2}{a_3} = 0,9 \left[ \frac{E_a}{E_b} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Selanjutnya untuk mencari  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$  masih diperlukan sebuah persamaan lagi. Adapun sebagai persamaan ke III diambil patokan, bahwa base dari batu pecah dengan gradasi yang baik ( CBR > 80) mempunyai sudut penyebaran gays sebesar  $45^\circ$  jadi persamaan III ialah  $a_2 = 1$ .

Dengan demikian, maka bila E atau CBR masing-masing bahan diketahui, maka nilai-nilai  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$  dapat dihitung

**Contoh :**

$a_1$  aspal beton kelas baik E = 125.000 – 300.000 Kg/cm<sup>2</sup>

Base dari batu pecah dengan CBR > 80 %, E = 100 CBR

E =  $\pm 8.000$  kg/cm<sup>2</sup>

$$a_{1 \min} = 0,9 \left[ \frac{Ea}{Eb} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,9 \left[ \frac{125.000}{8.000} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,9 \cdot 2,4 = 2,16$$

$$a_{1 \max} = 0,9 \left[ \frac{Ea}{Eb} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,9 \left[ \frac{300.000}{8.000} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,9 \cdot 3,3 = 2,97 \approx 3$$

Biasanya diambil  $a_1 = 2$ , supaya aman

$a_3$  sub base dari sirtu dengan gradasi yang baik (lelected pit – run) CBR  $\geq 30$ .  $E_3 \geq 3.000$  kg/cm<sup>2</sup>

Base dari sirtu dengan CBR 50.

$E_2 = \pm 8.000$  kg/cm<sup>2</sup>.

$$\frac{a_2}{a_3} = 0,9 \left[ \frac{Ea}{Eb} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$a_3 = 1,0 \Rightarrow a_3 = \frac{1}{0,9} \left[ \frac{E_3}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,1 \left[ \frac{E_3}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$a_{3 \min} = 1,1 \left[ \frac{E_3}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,1 \left[ \frac{3.000}{8.000} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,79$$

Cukup aman bila dipakai  $a_3 = 0,75$

Jadi rumus menjadi :

$$h_{eq} = D_1 \cdot 2 + D_2 + D_3 \cdot 0,75$$

Catatan :

Selanjutnya untuk mempermudah perhitungan kita menggunakan batu pecah dengan  $CBR \geq 80$  sebagai standar dimana  $a = 1$

Berdasarkan ini didapat rumus-rumus :

$$a_1 = 0,9 \left[ \frac{E_1}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$a_2 = 1,0$$

$$a_3 = 1,1 \left[ \frac{E_3}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Rumus ini berlaku dengan syarat :

- $E_{aspal} \geq 125.000 \text{ kg/cm}^2$ .
- $CBR \text{ base} \geq 80$
- $CBR \text{ sub - base} \geq 30$ .

Untuk lapisan - lapisan perkerasan yang tanpa bahan pengikat, dianjurkan agar  $E_2/E_3$  nilainya diambil antara 2 - 3. Bila  $E_2/E_3$  lebih dari 3, maka dianggap  $E_2/E_3 = 3$ . atau  $E_2 = 3 \cdot E_3$  ( $E_2$  yang menentukan).

Antara sub base dan tanah dasar agar diambil ( $E_{\text{sub base}} / E_{\text{tanah dasar}} = 4 - 3$ )

#### 4.4 RUMUS DARI HASIL PERCOBAAN - PERCOBAAN DI LARORATORIUM

Rumus-rumus analitis seperti diuraikan di depan didasarkan atas 5 faktor ialah

- a. Kekuatan tanah dasar.
- b. Kekuatan dari lapisan-lapisan (aspalan, base dan sub-base).
- c. Kepadatan lalu - lintas.
- d. Keadaan lingkungan.

Tetapi sedemikian jauh para ahli belum ada kesatuan pendapat mengenai bagaimana caranya menghitung/mengevaluasi pengaruh dari tiap-tiap faktor tersebut diatas terhadap tebal konstruksi. Mereka mendasarkan anggapan atau hypothesanya sendiri sendiri.

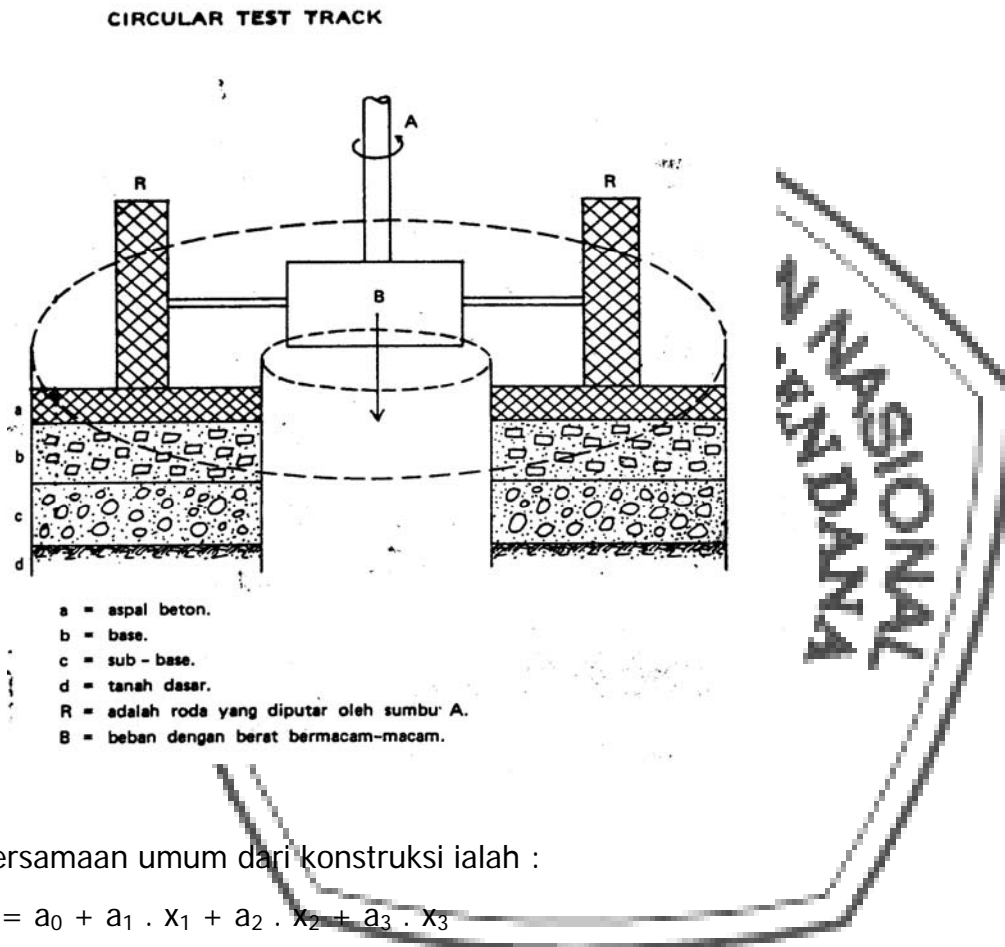
- Ada yang mendasarkan sifat penyebaran gaya pada bahan-bahan berbutir.
- Ada yang mendasarkan, bahwa tiap-tiap tipisan mempunyai sifat elastis, sehingga dihitung berdasarkan momen-momen yang diderita.

Beberapa kesatuan pendapat yang ada pada mereka ialah :

- a. Lapisan yang lebih kuat harus melindungi lapisan yang lebih lemah.
- b. Lapisan yang dibuat dari bahan yang lebih kuat dan mempunyai kohesi yang lebih besar dinilai lebih tinggi dari pada lainnya, sehingga timbul pengertian tinggi equivalent dan nilai equivalent.

Oleh karena itu salah satu cara yang bias memuaskan segala pihak, ialah membuat percobaan-percobaan di laboratorium yang mendekati dengan keadaan sesungguhnya di lapangan.

**Periksa gambar schema :**



Persamaan umum dari konstruksi ialah :

$$h = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3$$

$a_0$  adalah suatu konstante yang disebabkan oleh lugs bidang kontak yang biasanya dianggap nol.

#### A. PERCOBAAN OLEH JAMES F. SHOOK & FRIED N. FINN.

Oleh SHOOK & FINN rumus umum tersebut diatas disederhanakan menjadi :

$$h = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

Menurut laporan mereka berdasarkan analisa - analisa din penyelidikan - penyelidikan dan pengujian - pengujian, bila base sebagai pangkal perbandingan ( $a_2 = 1$ ). maka nilai equivalent lainnya berkisar antara :

$$a_1 = 2,6 - 3,3$$

$$a_3 = 0,7 - 0,8$$



Kemudian untuk mendapatkan konstruksi yang cukup aman mereka menganjurkan :

$$a_1 = 2,0$$

$$a_3 = 0,75$$

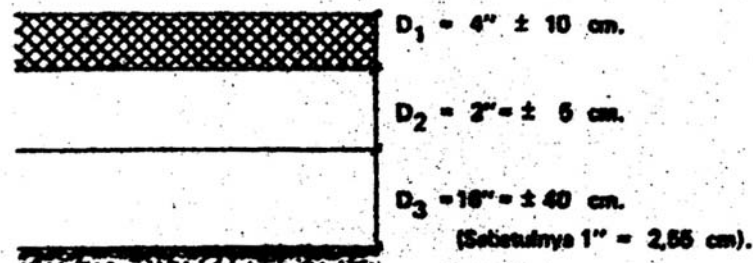
Berdasarkan rumus ini kemudian diadakan percobaan – percobaan lagi yang mendekati keadaan yang sesungguhnya dengan alat seperti gambar skema didepan (Circular test track).

Pada percobaan ini diambil : C.B.R. = 3.

Tinggi konstruksi h diambil menurut Asphalt Institute tahun 1980 – an ialah sama dengan 22 inches atau 55 cm. Ini sama dengan hasil dari rumus :

$$h = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \cdot \log n)}{CBR}} \Rightarrow \text{Untuk } n = 1.000$$

Salah satu kombinasi diambil :



Pada pembebanan ulangan dengan tekanan gandar tunggal 18 kips atau kira - kira 8 ton, sampai mencapai retak tingkat II (p = 2,5) bisa tahan sampai  $1,20 \times 10^8$  atau kira – kira  $10^6$  ulangan.

Koreksi terhadap rumus :

$$h = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \cdot \log n)}{CBR}}$$

Diatas diterangkan bahwa tinggi ekivalen T = 55 cm kira – kira sama dengan rumus :

$$h = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \cdot \log n)}{CBR}}$$

Untuk n = 1.000 (angka lalu – lintas untuk 24 jam). Jadi secara teoritis konstruksi

tersebut hanya dalam waktu :

$$T = \frac{1,02 \times 10^6}{1.000 \times 560}$$

$$= \pm 2,75 \text{ tahun}$$

Mengingat bahwa keadaan di lapangan tidak seldeal dilaboratorium maka untuk menjaga keamanan konstruksi tersebut hanya bisa tahan dalam waktu satu tahun saja. Selanjutnya mendapatkan rumus tebal konstruksi yang bisa tahan untuk waktu 20 tahun dapat diperoleh sebagai berikut :

$$h = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \cdot \log (20 \cdot n))}{CBR}}$$

dengan sedikit pembulatan didapat :

$$h_{20} = 56 \sqrt{\frac{(2 + 0,7 \cdot \log .n)}{CBR}}$$

Untuk umur 15 tahun analoog dengan diatas didapat

$$h_{15} = 56 \sqrt{\frac{(1,8 + 0,7 \cdot \log .n)}{CBR}}$$

Untuk umur 10 tahun didapat

$$h_{10} = 56 \sqrt{\frac{(1,7 + 0,7 \cdot \log .n)}{CBR}}$$

Untuk umur 5 tahun didapat

$$h_5 = 56 \sqrt{\frac{(1,7 + 0,7 \cdot \log .n)}{CBR}}$$

Dimana  $h_{20}$ ,  $h_{15}$ ,  $h_{10}$  dan  $h_5$  adalah

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

Selanjutnya untuk mencari tebal lapisan-lapisan ( $D_1$ ,  $D_2$  dan  $D_3$ ) perlu diperhatikan persyaratan minimum untuk  $D_1$  dan  $D_2$ .

Rumus-rumus tersebut diatas belum memperhitungkan faktor-faktor regional (keadaan \_drainage, jenis tanah dan curah hujan). Untuk memperhitungkan fsktor - faktor regional ini perlu nilai n dikoreksi/dikalikan dengan faktor-faktor  $\theta$  dan  $\eta$ .

## **B. PENGARUH KEADAAN LINGKUNGAN PADA PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN (FAKTOR REGIONAL).**

Pada perhitungan tebal perkerasan. dengan system mempergunakan When pengikat (bound system) seperti diuraikan didepan ketahanan days dukung tanah dasar didasarkan pada sifat kelelahan akibat muatan berulang-ulang. Percobaan•percobaan yang diadakan dengan mempergunakan circular test track membuktikan bahwa sifat kelelahan bahan perkerasan dan tanah dasar sangat dipengaruhi oleh adanya dan lamanya keadaan jenuh air didalam bahan atau tanah tersebut. Tanah dasar yang selalu didalam keadaan jenuh air (tanah-tanah di daerah rawa) akan lekas mencapai kelelahan dibandingkan dengan tanah yang selalu didalam keadaan kering.

### **B.1. Faktor Severitas (severity faktor).**

Faktor severitas ini didefinisikan sebagai kecepatan kerusakan relatif akibat beban satuan. Jadi apabila kerusakan yang terjadi dengan adanya air babas dalam perkerasan/tanah dasar menjadi 8 kali lebih cepat dibandingkan dengan Rerusakan tanpa adanya air babas, maka dikatakan besamys nilai severitas bahan tersebut adalah 8 atau  $S = 8$ .

Mengenai nilai dari faktor severitas ini berdasarkan percobaan-percobaan yang diadakan di Amerika Serikat didapat angka-angka sebagai berikut

- Percobaan yang diadakan oleh The University of Illinois mendapatkan suatu faktor severitas sampai sebesar 200 ( $S = 200$ ).
- Percobaan Road test oleh WASHO di Idaho mendapatkan nilai S sampsl sebesar 70.000 ( $S = 70.000$ ).
- Percobaan Road test oleh WASHO di Michigan mendapatkan nilai S sampal

sebesar 40 ( $S = 40$ ).

Besarnya nilai  $S$  ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah.

Perlu ditambahkan disini bahwa faktor severitas yang dihasilkan oleh percobaan - percobaan di Amerika Serikat baser karena selain dipengaruhi oleh air babas dalam perkerasan tanah dasar juga karena menderita gaya - gaya akibat adanya "frolt heave" dan "Spring thaw".

Keadaan ini untuk Indonesia tidak pernah dialami sehingga nilai  $S$  relatif akan lebih kecil dibandingkan dengan daerah-daerah yang mengalami musim salju.

Dengan didapatnya faktor severitas ini maka hubungan antara faktor severitas, lamanya konstruksi terisi air dan berkurangnya umur rencana dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan :

$$Y = 100 \cdot \left( \frac{100}{X \cdot (S + 1) + 100} \right)$$

dimana :

$Y$  = berkurangnya umur perkerasan claim %

$X$  = lamanya perkerasan terisi air setiap tahunnya dalam %

$S$  = Faktor severitas

Rumus atau hubungan tersebut diatas untuk beberapa harga  $S$  bisa dilihat pada gambar grafik berikut.

Dari grafik tersebut tampak bahwa bila perkerasan harus memikul beban kendaraan yang berat selama strukturnya terisi air meskipun untuk waktu yang tidak terlalu lama, umurnya akan sangat diperpendek.

Analisa diatas dilakukan dengan anggapan bahwa nilai  $S$  adalah konstan. Keadaan sesungguhnya tidak demikian karena  $S$  ini sangat dipengaruhi oleh susunan butir dan struktur dari bahan perkerasan/tanah dasar. Bila selama proses kerusakan tersebut mengalami perobahan susunan butir terjadinya abrasi (pecahnya butiranbutiran agregatnya) atau rusaknya struktur tanah maka nilai  $S$  ini akan menanjak dengan cepat.

## B.2 Faktor-faktoor Regional.

Lamanya air tertahan didalam konstruksi perkerasan / tanah dasar sangat dipengaruhi oleh

- Keadaan drainase, baik drainase alam lingkungan maupun drainase buatan (bangunan-bangunan drainase).
- Lamanya atau banyaknya curah hujan didaerah bersangkutan.
- Sifat tanah menahan air. Hal ini terdennin pada nilai dari Plasticity index-nya (P.I) untuk bahan/tanah dengan P.I. kecil (tanah pasir) bersifat mudah melepaskan air, sedang bahan / tanah dengan P.I. besar (tanah liat) bersifat sulit melepaskan air.

Pengaruh ini semua terhadap perhitungan tebal konstruksi perlu dirupakan sebagai faktor-faktor koreksi terhadap umur rencana (U).

Faktor keadaan drainage dirupakan sebagai tanda  $\delta$  ceding faktor curah hujan den faktor P.I. dirupakan sebagai tanda  $\eta$ . Besarnya nilai  $\delta$  dan  $\eta$  untuk daerah - daerah yang tidak mengalami musim salju seperti Indonesia bisa dilihat pada daftar berikut

Jadi bila :

$n$  = Lalu lintas ekivalan yang diperhitungkan.

$U$  = Umur rencana sesuai dengan yang diinginkan/direncanakan (dalam thn).

$\delta$  = Faktor keadaan drainage lingkungsn.

$\eta$  = Faktor curah hujan dan P.I. bahan/tanah drier.

$n$  = Lalu lintas ekivalen dengan  $P_o$  sesuai proyeksi lalu - lintas.

maka didapat rums umur yang diperhitungkan

$$n_o = U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n$$

Rumus ini dimasukkan kedalam rumus tebal konstruksi sehingga didapat rumus umum sebagai berikut :

$$hek = 20 \sqrt{\frac{Po(1 + 0,7 \cdot \log U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Untuk  $P_o = 8$  ton didapat rumus umum

$$h_{ek} = 56 \sqrt{\frac{(1 + 0,7 \cdot \text{Log } U \cdot \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Untuk umur 20 tahun :

$$h_{20} = 56 \sqrt{\frac{(2 + 0,7 \cdot \text{Log } \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Untuk umur 15 tahun :

$$h_{15} = 56 \sqrt{\frac{(1,8 + 0,7 \cdot \text{Log } \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Untuk umur 10 tahun :

$$h_{10} = 56 \sqrt{\frac{(1,7 + 0,7 \cdot \text{Log } \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Untuk umur 5 tahun :

$$h_5 = 56 \sqrt{\frac{(1,5 + 0,7 \cdot \text{Log } \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Dimana :

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

Untuk metode tanpa bahan pengikat (un bound system) perlu pula rumus tebal konstruksi dikoreksi dengan dan sehingga rumus h berubah sebagai berikut :

$$h = 20 \sqrt{\frac{Po(1 + 0,7 \cdot \text{Log } \partial \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Dimana :

$$h_{eq} = D_1 + D_2 + D_3$$

Untuk selanjutnya dianjurkan. agar setiap perhitungan tebal konstruksi dipergunakan rumus-rumus tersebut diatas dimana faktor daerah telah dimasukkan atau langsung mempergunakan rumus umum seperti dibawah ini.

Dimana :

$$n_o = U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n$$

dan

$$h_{eq} = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3$$

$n_o$  = lalu lintas ekivalen yang d)perhitungkan.

$n$  = lalu linos skinless yanit d)reticattakan.

$U$  = Umur (tahun)

$\delta$  = faktor keadaan drainage.

$\eta$  = faktor curah hujan.

$a_1, a_2$  dan  $a_3$  = nilai ekivalen tebal lapisan - lapisan perkerasan terhadap batu pecah.

$D_1, D_2$  dan  $D_3$  = tebal sesungguhnya lapisan perkerasan (dalam cm). Selanjutnya periksa daftar - daftar berikut

### FAKTOR REGIONAL

RUMUS UMUM

$$h_e = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 + 0,7 \log U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

DIMANA :

$h_e$  = h EKIVALEN TERHADAP BATU PECAH ( Cm )

$P_o$  = TEKAMAN GANDAR TUNGGAL STANDAF. ( ton )

$U$  = UMUR RENCANA ( Tahun )

$\delta$  = FAKTOR DRAINAGE

$\eta$  = FAKTOR CURAH HUJAN

#### FAKTOR DRAINAGE ( $\delta$ )

NO.	KLASIFIKASI	AIR TANAH	JENIS TANAH	$\delta$
1.	BAGUS	DALAM	BERBUTIR KASAR	1,0 - 1,5
2.	BAIK	DALAM	BERBUTIR HALUS	1,5 - 2,5
3.	SEDANG	TINGGI	BERBUTIR KASAR	2,5 - 3,5
4.	JELEK	TINGGI	BERBUTIR HALUS	3,5 - 5,0

#### FAKTOR CURAH HUJAN ( $\eta$ )

NO.	JENIS TANAH CURAH HUJAN	P. I. $\leq 10$	P. I. = 10 - 20	P. I. = 20 - 30
1.	JARANG	$\eta = 1,25 - 1,75$	$\eta = 2,00 - 2,50$	$\eta = 2,50 - 3,00$
2.	SEDANG	$\eta = 1,75 - 2,50$	$\eta = 2,50 - 4,00$	$\eta = 3,00 - 6,00$
3.	BANYAK	$\eta = 2,50 - 4,00$	$\eta = 4,00 - 7,00$	$\eta = 6,00 - 12,50$

P. I. = PLASTICITY INDEX.

### Nilai Ekuivalen Lalu Lintas (e)

Seperti diuraikan didepan nilai ekuivalen lalu lintas a bisa dianalisa seperti dibawah ini dengan mengambil variabel lalu lintas ekuivalen ialah no dimana :

$$no = U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n$$

$$no = \text{Lalu - lintas ekuivalen yang diperhitungkan (L.E.R)}$$

$$n = \text{Lalu - lintas ekuivalen yang direncanakan}$$

Sehingga rumus umum menjadi :

$$hek = 20 \sqrt{\frac{Po(1 + 0,7 \cdot \log U \cdot \delta \cdot \eta \cdot n)}{CBR}}$$

Analog dengan uraian didepan diperoleh rumus a sebagai berikut

$$\log e = \frac{\left( \frac{Pi}{Po} - 1 \right) (1 + 0,7 \cdot \log n)}{0,70}$$

Seperti didepan untuk memudahkan perhitungan, rumus e ini kita rupakan sebagai grafik sebagai berikut :



**DAFTAR TEBAL (h) TEBAL EKIVALEN (h<sub>e</sub>) TERHADAP BATU PECAH  
DENGAN CBR > 80 BERDASARKAN P<sub>0</sub> = 8 ton (S.A.L.) PADA KONSTRUKSI  
PERKERASAN JENIS LENTUR (FLEXIBLE - PAVEMENT)**

KLASIFIKASI TANAH DASAR  CBR	JELEK TANAH ORGANIK				SEDANG TANAH LIAT/SILT				BAIK TANAH BERPASIR					BAKUS BIRTU / BIRKIL				
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	35	40
2.500.000	83	83	78	70	68	68	64	60	46	44	41	38	34	29	28	24	22	21
2.000.000	82	82	76	70	66	66	63	49	48	43	41	38	34	29	28	24	22	21
1.500.000	81	82	75	69	65	66	63	49	48	43	41	37	33	29	28	24	22	20
1.000.000	80	81	74	68	64	67	62	48	45	43	40	37	33	29	28	23	22	20
750.000	80	80	73	68	63	67	62	48	45	42	40	37	33	28	26	23	21	20
500.000	88	79	72	67	63	66	61	47	44	42	40	36	32	28	25	23	21	20
250.000	87	77	71	66	61	66	60	46	43	41	39	35	32	27	24	22	21	19
100.000	84	76	69	64	60	63	49	45	42	40	38	34	31	27	24	22	20	19
75.000	83	74	68	63	59	63	48	44	42	39	37	34	30	26	24	22	20	19
50.000	82	73	67	62	58	62	47	44	41	39	37	33	30	26	23	21	20	18
25.000	80	72	66	60	57	61	46	43	40	38	36	33	29	25	23	21	19	18
10.000	77	69	63	58	55	49	45	41	39	36	35	32	28	24	22	20	19	17
7.500	76	68	62	56	54	48	44	41	38	36	34	31	28	24	22	20	18	17
5.000	75	67	61	57	53	47	43	40	38	35	34	31	27	24	21	19	18	17
2.800	73	66	60	55	51	46	42	39	36	34	33	30	27	23	21	19	17	16
1.000	70	62	57	53	49	44	40	37	35	33	31	28	25	22	20	18	17	16
750	69	61	56	52	49	43	40	37	34	32	31	28	25	22	19	18	16	15
500	67	60	55	51	48	45	39	36	34	32	30	27	25	21	19	17	16	15
250	66	58	53	49	46	41	37	35	32	31	29	26	24	21	18	17	16	15
100	62	55	51	47	44	39	36	33	31	29	28	25	23	20	18	16	15	14
75	61	54	50	46	44	38	35	33	30	29	27	25	22	19	17	16	15	14
50	59	53	48	45	42	37	34	32	30	28	28	24	22	19	17	16	14	13
25	56	50	46	43	40	36	33	30	28	27	25	23	21	18	16	15	13	13
10	52	47	43	39	37	33	30	28	26	25	23	21	19	16	15	13	12	12
7,5	51	45	41	38	36	32	29	27	25	24	23	21	19	16	14	13	12	11
5	49	44	40	37	35	31	28	26	24	23	22	20	18	15	14	13	12	11
2,5	46	44	37	34	32	29	26	24	23	21	20	18	17	14	13	12	11	10
1	40	36	33	30	28	25	23	21	20	19	18	16	15	13	11	10	10	9

KETERANGAN DAN PETUNJUK			
NO.	UNTUK JALAN STANDARD	RUMUS	$n_o$ (L.L. EKIVALEN YG DIPERHITUNGKAN)
1.	METHODE UN BOUND	$h = 20 \sqrt{\frac{P_o(1+0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$ $h = D_1 + D_2 + D_3$	$n_o = \delta \cdot \eta \cdot n$  $n_o = u \cdot \delta \cdot \eta \cdot n$
2.	METHODE BOUND	$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o(1+0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$ $h = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$	
1.	UNTUK JALAN SUB-STANDARD METHODE UN BOUND JALAN SEMENTARA (Jalan desa, Jalan Transmigrasi)	$h = 20 \sqrt{\frac{P_o(1+0,7 \log n)}{\text{CBR}}} - \Delta$ $h = D_1 + D_2 + \dots$	$n_o = \delta \cdot \eta \cdot n$  $n_o = n$ $\{\Delta, \eta = 1\}$ Jadi hanya berlaku pada tanah pasir atau tanah liat pada musim kering).
2.	JALAN SANGAT SEMENTARA. (Jalan darurat, Jalan Kerja).	$h = 20 \sqrt{\frac{P_o(1+0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} - \Delta$ $h = B_1 + D_2 + D \dots$	

No.	KLASIFIKASI KEPADATAN LALU LINTAS	LER (n)	$D_1 + D_2$ MIN (CM)	$D_1$ MIN (CM)	JARI-JARI BIDANG KONTAK :
1.	SANGAT PADAT	$> 1000$	25	9-10	$\Delta = 17,8 \sqrt{\frac{P_o}{\sigma_s}}$
2.	PADAT	100 - 1000	20	7-8	UNTUK $P_o = 8 t$
3.	SEDANG	10 - 100	15	7-8	$\sigma_s = 120 \text{ psi}$ $= 8,4 \text{ kg/cm}^2$
4.	JARANG	1 - 10	12,5	4-5	$\Delta = \pm 17 \text{ Cm.}$

### FAKTOR DRAINASE ( $\delta$ )

NO.	KLASIFIKASI	AIR TANAH	JENIS TANAH	$\delta$
1.	BAGUS	DALAM	BERBUTIR KASAR	1,0 – 1,5
2.	BAIK	DALAM	BERBUTIR HALUS	1,5 – 2,5
3.	SEDANG	TINGGI	BERBUTIR KASAR	2,5 – 3,5
4.	JELEK	TINGGI	BERBUTIR HALUS	3,5 – 6,0

### FAKTOR CURAH HUJAN ( $\eta$ )

NO.	JENIS TANAH CURAH HUJAN	P.I. < 10 (PLASTICITY INDEX)	P.I. = 10 – 20	P.I. = 20 – 30
1.	JARANG	$\eta = 1,25 - 1,75$	$\eta = 2,00 - 2,50$	$\eta = 2,50 - 3,00$
2.	SEDANG	$\eta = 1,75 - 2,50$	$\eta = 2,50 - 4,00$	$\eta = 3,00 - 6,00$
3.	BANYAK	$\eta = 2,50 - 7,00$	$\eta = 4,00 - 7,00$	$\eta = 6,00 - 12,50$

### CONTOH – CONTOH PERHITUNGAN

Jalan Jakarta By Pass didesain untuk manampung lalu lintas ekuivalen terhadap  $P_o = 8,0$  ton rata-rata 2.000 kendaraan tiap hari dan untuk umur rencana 20 tahun. Tanah dasar dibuat dari tanah liat dipadatkan dan sebagian dari pasir laut dipadatkan. Untuk kedua macam tanah dasar ini diambil  $= 6$ .

Desain dari iapisan - lapisan perkerasannya mengalami perubahan-perubahan dan perubahan bahan paling akhir yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

TEBAL	JENIS LAPISAN	BAHAN
4 cm	surface	Beton aspal klas.
5 cm	Binder	Beton aspal klas.
15 cm	Base	Sirtu pecah
20 cm	Sub-Base	Sirtu pecah
	Tanah dasar (sub-grade)	Tanah liat/ pasir laut (CBR = 6)

Kontrol perhitungan dengan mempergunakan rumus :

$$a). \text{ hek} = 20 \sqrt{\frac{Po.(1 + 0,7 . \text{Log } U . \delta . \eta . n)}{CBR}}$$

$$b). \text{ heq} = D_1 . a_1 + D_2 . a_2 + D_3 . a_3.$$

**Ketentuan – ketentuan**

$$Po = 8.0 \text{ ton}$$

$$= 2.000$$

$$\text{Umur rencana} = 20 \text{ tahun}$$

$$\delta (\text{derah Jakarta}) = \pm 2,5$$

$$\eta (\text{derah Jakarta}) = \pm 9,0$$

$$CBR \text{ diambil} = 9,0$$

$$a_1 (\text{beton aspal}) = 20 \text{ tahun}$$

$$a_2 (\text{sirtu pecah}) = \pm 2,5$$

$$a_3 = a_2 = 1,0$$

$$D_1 \text{ diambil} = 9,0 \text{ cm}$$

$$D_2 \text{ diambil} = 15 \text{ cm}$$

**Perhitungan :**

$$\text{hek} = 20 \sqrt{\frac{8.(1 + 0,7 . \text{Log } 20 . 2,5 . 9 . 2000)}{6}}$$

$$\text{hek} = 20 \sqrt{\frac{8.(1 + 0,7 . \text{Log } 900.000)}{6}}$$

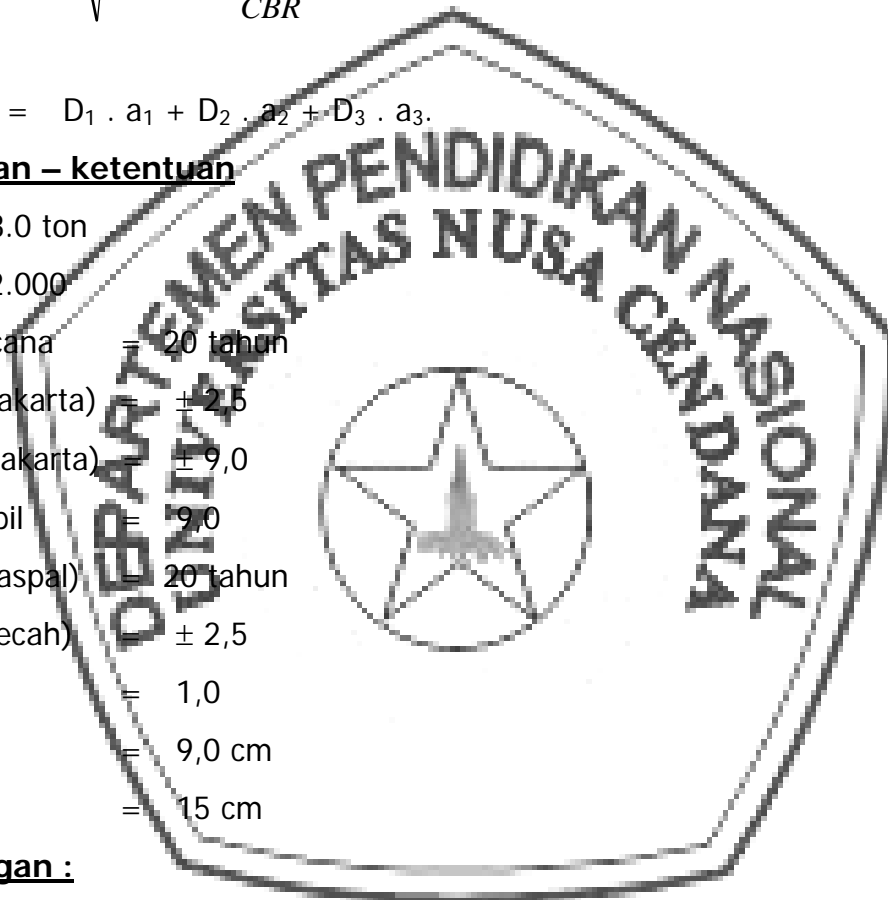
$$\text{hek} = 52,51 \text{ cm} \Rightarrow = 53 \text{ cm}$$

$$\text{heb} = D_1 . a_1 + D_2 . a_2 + D_3 . a_3.$$

$$53 = 2 . 9 + 1 . 15 + 1 . D_3$$

$$D_3 = 53 + 18 - 15 \text{ cm}$$

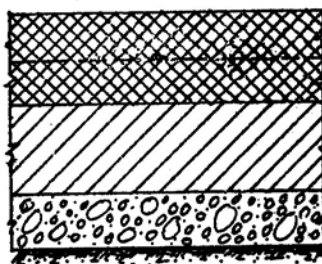
$$= 20 \text{ cm.}$$



Jalan Jakarta By Pass ini selesai dibangun pada tahun 1963. Setelah umur 12 tahun di beberapa tempat telah mengalami retak - retak dan kemudian diadakan resurfacing dengan beton aspal tebal rata-rata 5 cm. Kesimpulannya ialah CBR tanah liat dan pasir laut diambil sama dengan 6 terlalu besar, adapaun yang aman ialah bila diambil CBR = 4, terutama didaerah timbunan.

### Konstruksi perkerasan Jalan Jagorawi

Jalan Jagorawi (Jakarta - Bogor - Ciawi) didesain untuk menampung lalu lintas ekuivalen rata-rata 1.790 kendaraan (Po = 18.000 tbs. ) tiap hari dan untuk umur rencana 20 tahun tanah dasar dari tanah liat setempat dipadatkan. Desain dari lapisan-lapisan perkerasannya juga berkali-kali mengalami perubahan dan perubahan paling akhir yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :



TEBAL	JENIS LAPISAN	BAHAN
10 cm	Surface Binder	Beton aspal klas A.
23 cm	Asphaltic base	Beton aspal klas B.
15 cm	Sub - base *)	Sirtu
—	Tanah dasar	Tanah liat (CBR = 4)

Kontrol perhitungan dengan mempergunakan rumus :

$$a). \text{ hek } = 20 \sqrt{\frac{8 \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } 20 \cdot 2,5 \cdot 9 \cdot 2000)}{6}}$$

$$b). \text{ hek } = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

### Ketentuan – ketentuan

$$P_o = 8.2 \text{ ton}$$

$$= (18.000 \text{ lbs})$$

$$\text{Umur rencana} = 20 \text{ tahun}$$

$$\delta (\text{derah Jakarta}) = \pm 2,5$$

$$\eta (\text{derah Jakarta}) = \pm 9,0$$

$$\text{CBR diambil} = 4,0$$

$$a_1 (\text{beton aspal}) = 2$$

$$a_2 (\text{beton aspal klas B}) = 1,5$$

$$a_3 (\text{sirtu kelas sedang}) = 0,70$$

$$D_1 \text{ diambil} = 10,0 \text{ cm}$$

$$D_2 \text{ diambil} = 23,0 \text{ cm}$$

### Perhitungan :

$$hek = 20 \sqrt{\frac{8,2 \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } 20 \cdot 2,0 \cdot 11 \cdot 1790)}{4}}$$

$$hek = 20 \sqrt{\frac{8,2 \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } 787.600)}{4}}$$

$$hek = 64,86 \text{ cm} \Rightarrow = 65 \text{ cm}$$

$$heb = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

$$65 = 2 \cdot 10 + 1,5 \cdot 23 + 0,7 \cdot D_3$$

$$0,7 \cdot D_3 = 53 + 18 - 15 \text{ cm}$$

$$= 15 \text{ cm.}$$

### JUMLAH LALU LINTAS EKIVALEN RENCANA (JLER).

Yang dimaksud dengan jumlah lalu lintas ekivalen rencana ialah jumlah ulangan beban ekivalen ( $P_o$ ) selama umur rencana.

JLER ini biasanya ditulis dengan huruf N.

Jadi bila :

LER = n (perhari)

Umur rencana = u (tahun)

1 tahun = 365 hari

Dalam suatu kasus mungkin kita hanya mengetahui atau ingin mengetahui jumlah ulangan dari  $P_o$  saja (N) tanpa diketahui atau mengetahui umur rencananya. Untuk hal ini maka rumus dasar di depan perlu dirubah sebagai berikut.

Rumus dasar :

$$hek = 20 \sqrt{\frac{Po \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } no)}{CBR}}$$

Dimana :

no = U.  $\delta$ .  $\eta$ . n

sedangkan :

N = 365. u. n

Atau :

$$n = \frac{N}{365}$$

harga n ini dimasukan ke rumus no

$$no = u \cdot \delta \cdot \eta \cdot \frac{N}{365 \cdot u}$$

$$no = \frac{\delta \cdot \eta \cdot N}{365}$$

jadi bila dipergunakan metode JLER ini, maka rumus tebal konstruksi adalah :

$$hek = 20 \sqrt{\frac{Po \cdot (1 + 0,7 \cdot \text{Log } no)}{CBR}}$$

Dimana :

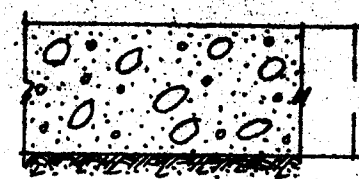
$$no = \frac{\partial \cdot \eta \cdot N}{365}$$

Dan

$$hek = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

**Contoh Soal :**

Suatu proyek akan mempergunakan jalan setempat yang telah ada untuk jalan kerja. Setelah diadakan penelitian terhadap jalan tersebut didapat hal sebagai berikut :



- Lapis penutup ( $D_1$ ) dan lapisan base ( $D_2$ ) tidak ada.
- Lapisan sub base ( $D_3$ ) terdiri dari sirtu dengan tebal rata – rata 20 cm.

Ketentuan - ketentuan lain :

- CBR tanah dasar bias diambil  $= 8.0$
- Faktor regional bias diambil  $\delta = 2.0$
- Faktor curah hujan  $\eta = 12,5$
- Nilai ekivalen untuk sirtu  $a = 0,75$
- Truk yang akan dipergunakan oleh proyek berukuran ekivalen dengan tekanan gander tunggal 8 ton dan  $\sigma_a$  supaya diambil 120 psi ( $8,4 \text{ kg/cm}^2$ ) agar aman.

Ditanyakan berapa jumlah lintasan (N) truk dengan ukuran tersebut bisa lewat di jalan tersebut baik di musim kering maupun dimusim hujan sampai jalan tersebut menjadi rusak.



**Jawaban :**

$$hek = 20 \sqrt{\frac{Po. (1 + 0,7 \cdot \text{Log } no)}{CBR}} - \Delta$$

Dimana :

$$no = \frac{\partial. \eta. N}{365}$$

Nilai N yang harus dicari

Perhitungan :

$$hek + \Delta = 20 \sqrt{\frac{Po. \left( 1 + 0,7 \cdot \text{Log } \frac{\partial. \eta. N}{365} \right)}{CBR}}$$

$$He = D_1 \cdot a_1 + D_2 \cdot a_2 + D_3 \cdot a_3.$$

$$65 = 0 + 0 + 0,75 \cdot D_3$$

$$He = 0 + 0 + 0,75 \cdot 20 \text{ cm}$$

$$= 15 \text{ cm.}$$

Dan :

$$\Delta = 17,8 \sqrt{\frac{Po.}{\sigma_a}}$$

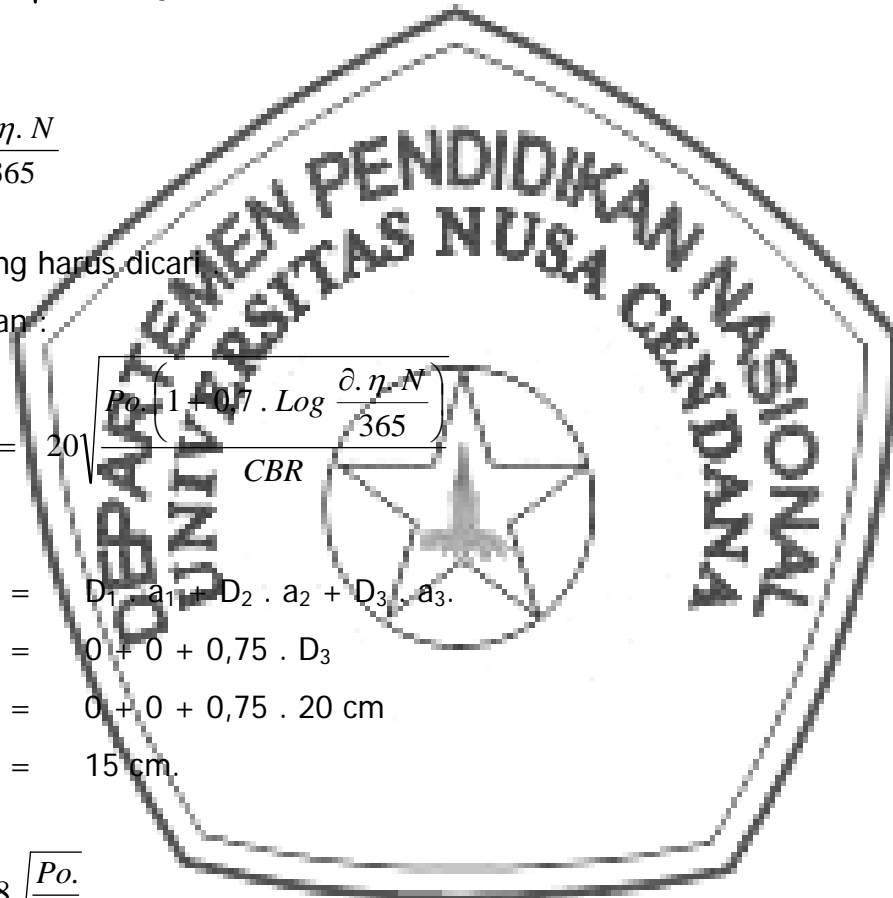
$$\Delta = 17,8 \sqrt{\frac{8}{8,4}}$$

$$\Delta = 17 \text{ cm}$$

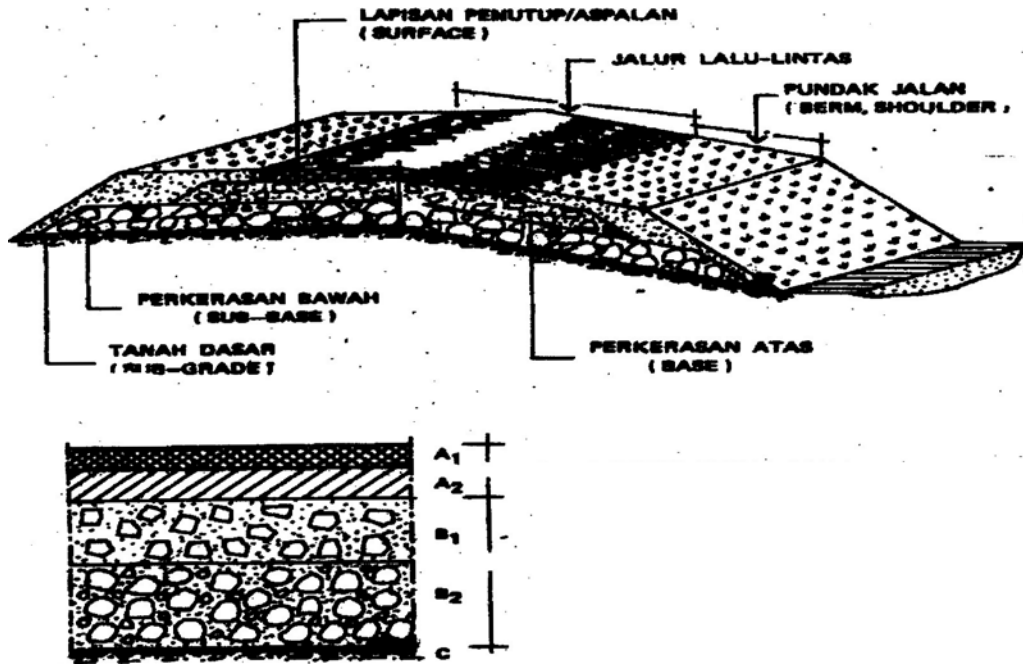
$$hek + \Delta = 20 \sqrt{\frac{Po. \left( 1 + 0,7 \cdot \text{Log } \frac{\partial. \eta. N}{365} \right)}{CBR}}$$

$$15 + 17 = 20 \sqrt{\frac{8. \left( 1 + 0,7 \cdot \text{Log } \frac{2.12,5. N}{365} \right)}{8}}$$

$$N = 2471 \text{ lintasan}$$



## GAMBAR SKETSA KONSTRUKSI PERKERASAN :



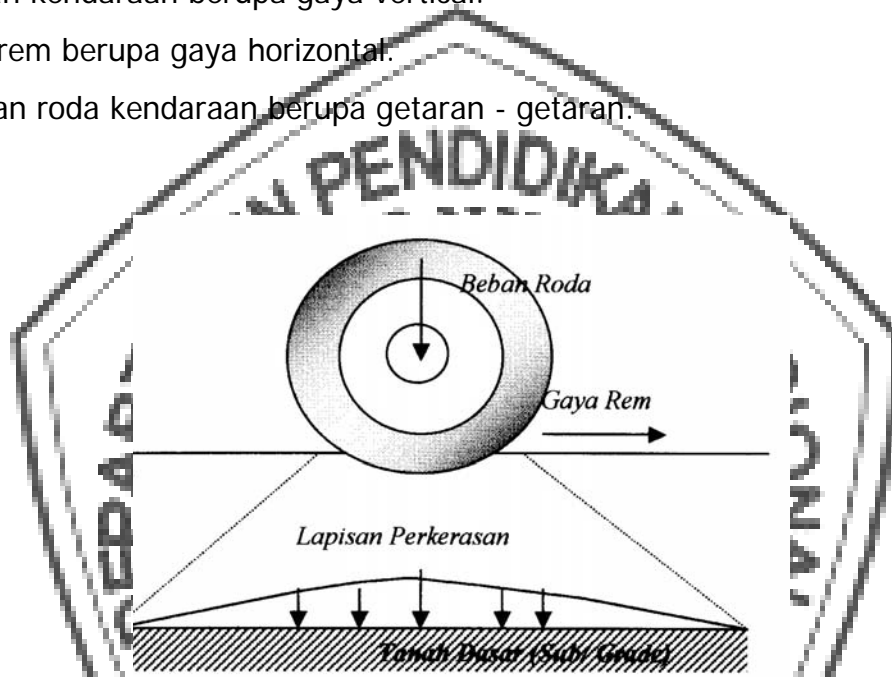
Gambar 2.1. Konstruksi Perkerasan

### Keterangan :

- A = Lapisan Penutup/ Aspalan
  - A<sub>1</sub> = Lapisan Penutup (Surface)
  - A<sub>2</sub> = Lapisan Pengikat (Binder)
- B = Perkerasan
  - B<sub>1</sub> = Perkerasan Atas (Base)
  - B<sub>2</sub> = Perkerasan Bawah (Sub - Base)
- C = Tanah Dasar (Sub - Grade)

Beban lalu lintas yang bekerja di atas konstruksi perkerasan dapat dibedakan atas:

- Muatan kendaraan berupa gaya vertical.
- Gaya rem berupa gaya horizontal.
- Pukulan roda kendaraan berupa getaran - getaran.



**Gambar 2.2 Penyebaran Beban Roda Melalui Perkerasan Jalan**

Karena sifat penyebaran gaya maka muatan diterima oleh masing — masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertical dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertical saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat - syarat yang harus dipenuhi oleh masing - masing lapisan.

### **2.1 Lapisan Permukaan (Surface Course).**

Lapisan ini biasanya terletak paling atas dan berfungsi sebagai :

- 1). Lapis perkerasan menahan beban roda, lapisan ini mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan beban roda selama masa layanan.
- 2). Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap kelapisan

dibawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.

- 3). Lapis Aus (Wearing Course), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- 4). Lapis Penerus Beban, lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisanlain yang mempunyai daya dukung yang lebih lemah.

Jenis lapisan permukaan yang umumnya dipergunakan di Indonesia antara lain : lapisan bersifat non struktural dan lapisan bersifat struktural.

#### **A. Lapisan Bersifat Non Struktural.**

Lapisan bersifat non struktural biasanya berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air antara lain :

- a. Burtu (Laburan Aspal Satu Lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam, dengan tebal maksimum 2 cm.
- b. Burda (Laburan Aspal Dua Lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam yang dikerjakan secara berurutan, dengan tebal maksimum 3,5 cm.
- c. Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu, dengan tebal padat maksimum 1 - 2 cm.
- d. Buras (Laburan Aspal), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal taburan pasir dengan ukuran butir maksimum 3/8 inchi.
- e. Latasbum (Lapis Tipis Asbuton Murni), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal padat maksimum 1 cm.
- f. Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton)/ HRS (Hot Roll Sheet), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi timpang, material pengisi (filler) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan

dalam keadaan panas. Tebal padat antara 2,5 – 3 cm.

Jenis Lapisan permukaan tersebut diatas walaupun bersifat non struktural, dapat, dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. Jenis perkerasan ini terutama digunakan untuk pemeliharaan jalan.

### **B. Lapisan Bersifat Struktural.**

Lapisan bersifat struktural biasanya berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda antara lain :

- a. Lapien (Lapis Penetrasi) merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara menyeprotkan lapis demi lapis. Diatas Lapien ini biasanya diberi lapuran aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan dapat bervariasi dari 4 - 10 cm.
- b. Lasbutag (Lapis Aspal Beton Agregat), merupakan lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal padat tiap lapisan antara 3 - 5 cm.
- c. Laston (Lapis Aspal Beton), merupakan lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu

### **2.2 Lapisan Pondasi Atas (Base Course).**

Lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas (base course).

Fungsi lapis Pondasi atas antara lain sebagai :

- 1). Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- 2). Lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah.

3). Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Material yang akan digunakan untuk lapis pondasi atas adalah material yang cukup kuat. Untuk lapis pondasi tanpa bahan pengikat umumnya menggunakan material CBR > 50 %, dan Plastisitas Indeks (PI) > 4 %. Bahan — bahan alam seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilisasi tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas.

Jenis lapis pondasi atas yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain :

1. Agregat bergradasi baik.
2. Pondasi Macadam.
3. Pondasi Telford.
4. Penetrasi Macadam (Lapen).
5. Aspal beton pondasi (Asphalt Concrete Base/ Asphalt Treated Base).
6. Stabilisasi yang terdiri dari :
  - a. Stabjlisasi Agregat dengan Semen (Semen Treated Base).
  - b. Stabilisasi Agregat dengan Kapur.
  - c. Stabilisasi Agregat dengan Aspal.

### **2.3 Lapis Pondasi bawah (Subbase Course).**

Lapisan perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapis pondasi bawah (sub - base).

Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat mempunyai CBR 20 % dan Plastisitas Indeks (PI) 10 %.
2. Effisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
4. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul/ tidak masuk kedalam lapisan

pondasi.

5. Lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar, hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda - roda alat besar.
6. Lapisan untuk mencegah partikel - partikel halus dari tanah dasar naik ke pondasi atas, untuk itu lapis pondasi bawah haruslah memenuhi syarat filter yaitu :

$$\frac{D_{15} \text{ Subbase}}{D_{15} \text{ Subgrade}} \geq 5$$

$$\frac{D_{15} \text{ Subbase}}{D_{85} \text{ Subgrade}} \geq 5$$

Dimana :

$D_{15}$  = Diameter butiran pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 15 %

$D_{85}$  = Diameter butiran pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 85 %

Jenis lapisan pondasi bawah yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain :

1. Agregat bergradasi baik, dibedakan atas :
  - a. Sirtu kelas A (Kasar).
  - b. Sirtu kelas B (Sedang)
  - c. Sirtu kelas C (Halus).
2. Stabilisasi.
  - a. Stabilisasi agregat dengan semen (Cement Treated Subbase).
  - b. Stabilisasi agregat dengan kapur (Lime Treated Subbase).
  - c. Stabilisasi tanah dengan semen (Soil Cement Stabilization).
  - d. Stabilisasi tanah dengan kapur (Soil Lime Stabilization).

## 2.4 Lapis Tanah Dasar (Sub Grade).

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat - sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

- 1). Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu - lintas.
- 2). Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- 3). Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya atau, akibat pelaksanaan.
- 4). Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
- 5). Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu - lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu : pada tanah berbutir kasar (granular soil) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan.



## **BAB V. PENENTUAN TEBAL PERKERASAN LENTUR**

### **METODE ANALISA KOMPONEN**

#### **5.1. DESKRIPSI.**

##### **A. Maksud dan Tujuan.**

Perencanaan tebal perkerasan yang akan diuraikan dalam buku ini adalah merupakan dasar dalam menentukan tebal perkerasan lentur yang dibutuhkan untuk suatu jalan raya.

Yang dimaksud perkerasan lentur (flexible pavement) dalam perencanaan ini adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Interpretasi, evaluasi dan kesimpulan - kesimpulan yang akan dikembangkan dari hasil penetapan ini, harus juga memperhitungkan penerapannya secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan itu adalah yang optimal.

##### **B. Ruang Lingkup.**

Dasar-dasar perencanaan tebal perkerasan jalan ini meliputi uraian deskripsi, parameter perencanaan dan metoda pelaksanaan, contoh-contoh dan hasil-hasil perencanaan.

##### **C. Definisi, Singkatan dan Istilah.**

- Jalur rencana adalah salah satu jalur lalu lintas dari suatu sistem jalan raya, yang menampung lalu lintas terbesar. Umumnya jalur rencana adalah salah satu jalur dari Jalan raya dua jalur tepi luar dari jalan raya berjalur banyak.
- Umur Rencana (UR) adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan

tersebut mulai dibuka sampai sampai diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru.

- Indeks Permukaan (IP) sdahh suatu angka. yang dipergunakan untuk menyatakan kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan jalan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lain lintas yang lewat.
- Lalu Lintas Harlan Rata rata (LHR) adalah jumlah rata-rata lalu lintas kendaraan bermotor beroda 4 atau lebih yang dicatat selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan.
- Angka Ekvivalen (E) dari suatu beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standard sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb).
- Lintas Ekvivalen Permulaan (LEP). adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb) pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permukaan umur rencana.
- Lintas Ekvivalen Akhir (LEA) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton. (18..000 lb) pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana.
- Lintas Ekvivalen Tengah (LET) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb) pada jalur rencana pada pertengahan umur rencana.
- Lintas Ekvivalen Rencana (LER) adalah suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb) pada jalur rencana.
- Tanah Dasar adalah-permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.
- Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

- Lapis Pondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).
- Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas
- Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) adalah suatu Skala yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan kekuatan tanah dasar.
- Faktor Regional (FR) adalah faktor setempat, menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan.
- Indek Tebal Perkerasan (ITP) adalah suatu angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan.
- Lapis Aspal Baton (LASTON) adalah merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.
- Lapis Penetrasi Macadam (LAPEN) adalah merupakan suatu lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dengan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang dilat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan diatasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan apabila akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan bate penutup.
- Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG) adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja dan filler (bila diperlukan) yang dicampur, dihampar dan di padatkan secara dingin.
- Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.
- Laburan Aspal (BURAS) adalah merupakan lapis penutup terdiri dari lapisan aspal taburan pasir dengan ukuran butir maksimum 9,6 mm atau 3/8 inch.

- Laburan Baru Satu Lapis (BURTU) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan sepal yang ditabuti dengan sate lapis agregat bergradasi seragam. Tebal maksimum 20
- Laburan Batu Dua Lapis (BURDA) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan. Tebal maksimum 35 mm.
- Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS) adalah merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu, dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.
- Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH) adalah pada umumnya merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan pada temperatur tertentu.
- Lapis Tipis Aspal Beton (LASTON) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal. keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Tebal padat antara 25 sampai 30 mm.
- Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.
- Aspal Makadam adalah merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan/atau agregat pengunci bergradasi terbuka atau seragam yang dicampur dengan aspal cair, diperam dan dipadatkan secara dingin.

#### **D. Batas Batas Penggunaan.**

Penentuan tebal perkerasan dengan cara yang akan diuraikan dalam bab ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan material betrbutir, (granular material, batu pecah) dan tidak berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan batu – batu besar (Cara Telford).

Cara-cara tebal perkerasan jalan, selain yang diuraikan dalam Petunjuk ini dapat juga digunakan, asal saja dapat dipertanggung jawabkan berdasarkan hasil-hasil test oleh seorang ahli.

#### **E. Penggunaan**

Petunjuk perencanaan dapat digunakan untuk

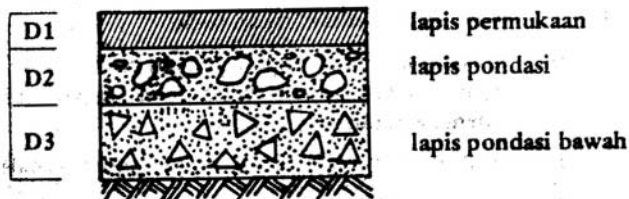
- Perencanaan perkerasan jalan baru (New Construction/Full Depth Pavement).
- Perkuatan perkerasan jalan lama (Overlay).
- KoNstruksi bertahap (Stage Construction).

Khusus untuk penentuan tebal perkuatan perkerasan jalan lama, penggunaan nomogram 1 sampai dengan 9 (lampiran 1) hanya dapat dipergunakan untuk cara "Analisa Komponen Perkerasan".

Dalam menggunakan petunjuk perencanaan ini, penilaian terhadap perkuatan perkerasan lama harus terlebih dulu meneliti dan mempelajari hasil - hasil laboratorium. Penilaian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab perencana, sesuai dengan kondisi setempat dan pengalamannya. .

## 5.2 Perkerasan Jalan.

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi : lapis pondasi bawah (sub base course), lapis pondasi (base course), dan lapis permukaan (surface course).



### A. Tanah Dasar

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

- Perubahan bentuk tetap (defotmasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.
- Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
- Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir kasar (granular soil) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan.

Untuk sedapat mungkin mencegah timbulnya persoalan di atas maka tanah dasar harus dikerjakan sesuai dengan "Peraturan Pelaksanaan Pembangunan jalan Raya".

## **B. Lapis Pondasi Bawah.**

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk kedalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat - alat besar atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Bermacam-macam tipe tanah setempat (CBR  $\geq 20\%$ , PI  $\leq 10\%$ ) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah.

Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland dalam beberapa hal sangat dianjurkan, agar dapat bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

## **C. Lapis Pondasi.**

Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban - beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik - baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Bermacam-macam bahan alam/bahan setempat (CBR  $\geq 50\%$ , PI  $\leq 4\%$ ) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecan, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

#### D. Lapis Permukaan.

Fungsi lapis permukaan antara lain :

- Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda.
- Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
- Sebagai lapisan aus (wearing course).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu - lintas.

Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

### 5.3. PARAMETER LALU LINTAS

#### A. Jumlah jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C).

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu - lintas dari suatu ruas jalan raya, yang menampung lalu - lintas terbesar.

Jika jalan tidak memiliki tanda batas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut daftar di bawah ini

Daftar I  
Jumlah Jalur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Jalur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 jalur
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 jalur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00 \text{ m}$	6 jalur



Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut daftar di bawah ini:

**Daftar II**  
**Koefisien Distribusi Kendaraan (C)**

Jumlah Jalur	Kendaraan Ringan*)		Kendaraan Berat**)	
	1 arah	2 arah	3 arah	4 arah
1 jalur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 jalur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 jalur	—	0,30	—	0,45
5 jalur	—	0,25	—	0,425
6 jalur	—	0,20	—	0,40

\*) berat total < 5 ton, misalnya : mobil penumpang, pick up, mobil hantaran.

\*\*) berat total ≥ 5 ton, misalnya : bus, truk, traktor, semi trailer, trailer.

### B. Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan.

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar di bawah ini :

$$\text{Angka Ekuivalen Sumbu Tunggal} = \left[ \frac{\text{Beban sumbu tunggal}}{8160} \right]^4$$

$$\text{Angka Ekuivalen Sumbu Ganda} = 0,086 \times \left[ \frac{\text{Beban satu sumbu ganda (kg)}}{8160} \right]^4$$

### C. Lalu Lintas Harian Rata-rata Dan Rumus – Rumus Lintas Ekuivalen.

- a. Lalu – lintas Harian Rata - rata (LHR) setiap jenis kendaraan di tentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing - masing arah dengan median
- b. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = \sum_{j=1,0}^n LHR_j \cdot C_j \cdot E_j$$

- c. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = \sum_{j=1,0}^n LHR_j \cdot (1+i)^{UR} \cdot C_j \cdot E_j$$

Catatan :

i = perkembangan lalu lintas.

j = jenis kendaraan.

- d. Lintas Ekuivalen Tengah (LET) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2}$$

- e. Lintas Ekuivalen Rencana (LER) dihitung dengan rumus sebagai berikut : LER  
= LET x FP

Faktor penyesuaian (FP) tersebut di atas ditentu kan dengan

Rumus : FP = UR/10.

### 5.4 Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR.

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi (gambar 1). Yang dimaksud dengan harga CBR disini adalah harga CBR lapangan atau CBR laboratorium.

Jika digunakan CBR lapangan maka pengambilan contoh tanah dasar dilakukan dengan tabung (undisturb), kemudian direndam dan diperiksa harga CBR-nya. Dapat juga

mengukur langsung di lapangan (musir hujan/direndam).

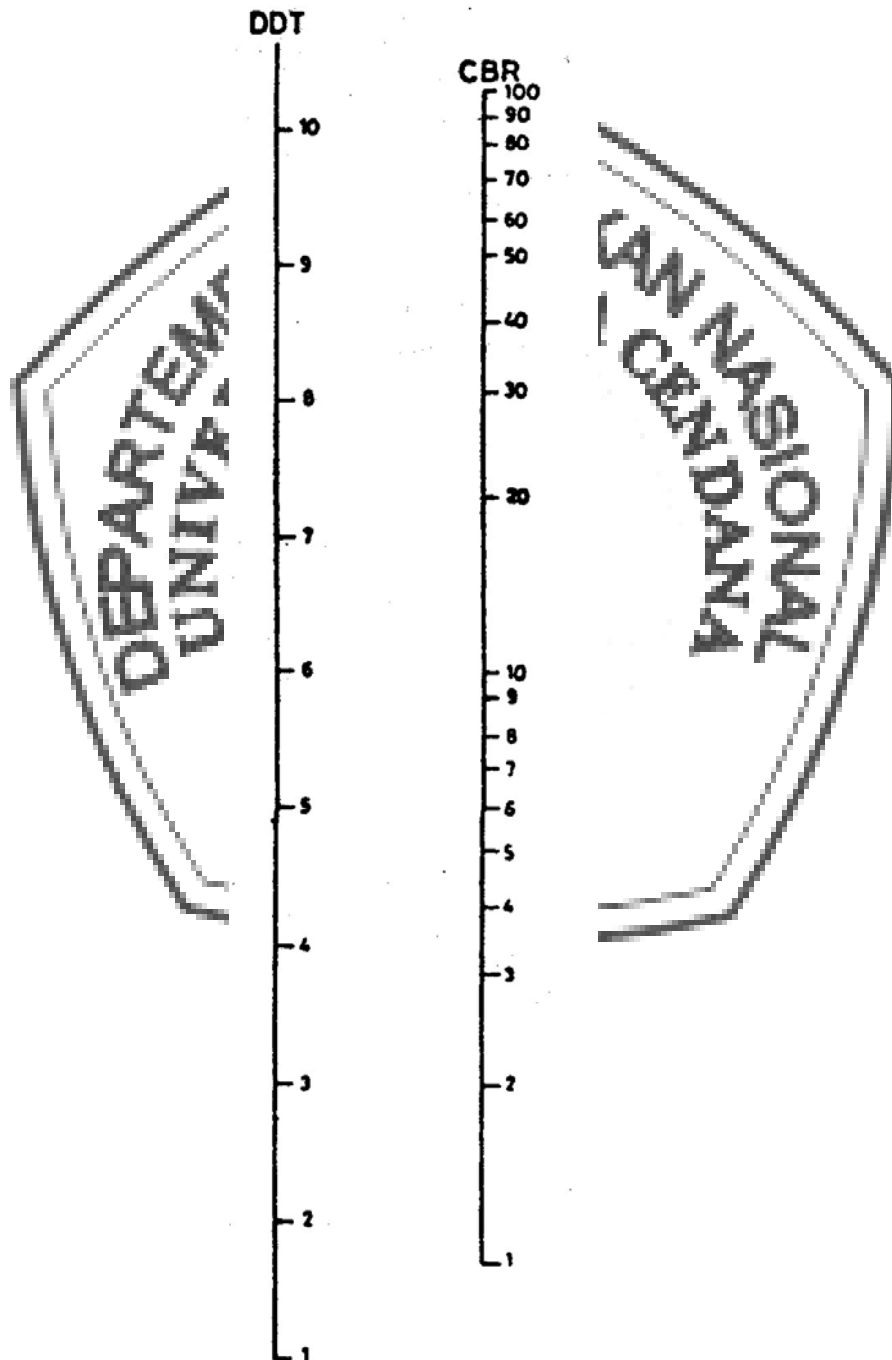
CBR lapangan biasanya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (overlay). Jika dilakukan menurut Pengujian Kepadatan Ringan (SKBI 3.3. 30.1987/UDC. 624.131.43 (02) atau Pengujian Kepadatan Berat (SKBI 3.3. 30.1987/UDC. 624.131.53 (02) sesuai dengan kebutuhan.

CBR laboratorium biasanya dipakai untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Sementara ini dianjurkan untuk berdasarkan daya dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Cara-cara lain hanya digunakan bila telah disertai data-data yang dapat dipertanggung jawabkan. Cara-cara lain tersebut dapat berupa : Group Index, Plate Bearing Test atau R-value. Harga yang mewakili dari sejumlah harga CBR yang dilaporkan, ditentukan sebagai berikut

- Tentukan harga CBR terendah.
- Tentukan berapa banyak harga CBR yang sama dan lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
- Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%. Jumlah lainnya merupakan persentase dari 100%.
- Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah tadi.
- Nilai CBR yang mewakili adalah yang didapat dari angka persentase 90% (lihat perhitungan pada contoh lampiran 2).

### **5.5 Faktor Regional (FR).**

Keadaan lapangan mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinyemen serta persentase kendaraan dengan berat  $\geq 13$  ton, dan kendaraan yang berhenti, sedangkan keadaan iklim mencakup curah hujan rata-rata per tahun.



**Gambar 5.1 KORELASI DDT DAN CBR**

Catatan : Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar kesebelah kiri diperoleh nilai DDT.

Mengingat persyaratan penggunaan disesuaikan dengan "Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya" , maka pengaruh keadaan lapangan yang menyangkut permeabilitas tanah dan perlengkapan drainase dianggap sama. Dengan demikian dalam penentuan ebal perkerasan ini, Faktor Regional hanya dipengaruhi oleh bentuk alinyemen (kelandaian dan tikungan), persentase kendaraan berat dan yang berhenti serta iklim (curah hujan) sebagai berikut :

**Daftar IV**  
**Faktor Regional (FR)**

	Kelandaian I ( < 6%)		Kelandaian II ( 6–10%)		Kelandaian III ( > 10%)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900 mm/th.	0,5	1,0–1,5	1,0	1,5–2,0	1,5	2,0–2,5
Iklim II > 900 mm/th.	1,5	2,0–2,5	2,0	2,5–3,0	2,5	3,0–3,5

Catatan : Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam (jari-jari 30 m) FR ditambah dengan 0,5. Pada daerah rawa-rawa FR ditambah dengan 1,0.

## 5.6. Indeks Permukaan (IP).

Indeks Permukaan ini menyatakan nilai daripada kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu - lintas yang lewat.

Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini :

IP = 1,0 : adalah menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP = 1,5 : adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap

IP = 2,5 : adalah menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu

dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah lintas ekuivalen rencana (LER), menurut daftar di bawah ini :

**Daftar V**  
**Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)**

LER = Lintas Ekuivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	lokal	kolektor	arteri	tol
< 10	1,0–1,5	1,5	1,5–2,0	–
10 – 100	1,5	1,5–2,0	2,0	–
100 – 1000	1,5–2,0	2,0	2,0–2,5	–
> 1000	–	2,0–2,5	2,5	2,5

•) LER dalam satuan angka ekuivalen 8/16 ton beban sumbu tunggal.

Catatan : Pada proyek-proyek penunjang jalan, JAPAT/Jalan Murah, atau jalan darurat maka IP dapat diambil 1,0.

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana, menurut daftar VI di bawah ini :

**Daftar VI**  
**Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)**

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness *) (mm/km)
LASTON	$\geq 4$ 3,9 – 3,5	$\leq 1000$ > 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5 3,4 – 3,0	$\leq 2000$ > 2000
HRA	3,9 – 3,5 3,4 – 3,0	$\leq 2000$ > 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0 2,9 – 2,5	$\leq 3000$ > 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	
BURAS	2,9 – 2,5	
LATASIR	2,9 – 2,5	
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	

\*) Alat pengukur roughness yang dipakai adalah roughometer NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 station wagon, dengan kecepatan kendaraan  $\pm 32$  km per jam.

Gerakan sumbu belakang dalam arah vertikal dipindahkan pada alat roughometer melalui kabel yang dipasang ditengah-tengah sumbu belakang kendaraan, yang selanjutnya dipindahkan kepada counter melalui "flexible drive".

Setiap putaran counter adalah sama dengan 15,2 mm gerakan vertikal antara sumbu belakang dan body kendaraan. Alat pengukur roughness type lain dapat digunakan dengan mengkalibrasikan hasil yang diperoleh terhadap roughometer NAASRA.

### 5.7 Koefisien Kekuatan Relatif ( a ).

Koefisien kekuatan relatif (a) masing - masing bahan dan kegunaannya sebagai lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah, ditentukan secara korelasi sesuai nilai Marshall Test (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang distabilisasi dengan semen atau kapur), atau CBR (untuk bahan lapis pondasi bawah). Jika alat Marshall Test tidak tersedia, maka kekuatan (stabilitas) bahan beraspal bisa diukur dengan cara lain seperti Hveem Test, Hubbard Field, dan Smith Triaxial.

Daftar VII  
Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR(%)	
0,40	—	—	744	—	—	Laston
0,35	—	—	590	—	—	
0,32	—	—	454	—	—	
0,30	—	—	340	—	—	
0,35	—	—	744	—	—	Lasbutag
0,31	—	—	590	—	—	
0,28	—	—	454	—	—	
0,26	—	—	340	—	—	
0,30	—	—	340	—	—	H RA Aspal Macadam Lapen (mekanis) Lapen (manual)
0,26	—	—	340	—	—	
0,25	—	—	—	—	—	
0,20	—	—	—	—	—	
—	0,28	—	590	—	—	Laston Atas
—	0,26	—	454	—	—	
—	0,24	—	340	—	—	
—	0,23	—	—	—	—	Lapen (mekanis) Lapen (manual)
—	0,19	—	—	—	—	
—	0,15	—	—	22	—	Stab.tanah dengan semen
—	0,13	—	—	18	—	



Lanjutan Daftar VII.  
Koefisien Kekuatan Relatif (a).

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg	Kr (kg/cm <sup>2</sup> )	CBR(%)	
—	0,15	—	—	22	—	Stab. tanah dengan kapur
—	0,13	—	—	18	—	
—	0,14	—	—	—	100	Batu pecah (kelas A)
—	0,13	—	—	—	80	Batu pecah (kelas B)
—	0,12	—	—	—	60	Batu pecah (kelas C)
—	—	0,13	—	—	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
—	—	0,12	—	—	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
—	—	0,11	—	—	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
—	—	0,10	—	—	20	Tanah/lempung kepasiran

Catatan : Kuat tekan stabilisasi tanah dengan semen diperiksa pada hari ke 7. Kuat tekan stabilisasi tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke 21.

## 5.8 Batas-Batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan.

Daftar VIII  
Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

### 1. Lapis Permukaan :

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung : (Buras/Burtu/Burda)
3,00 — 6,70	5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag Laston.
6,71 — 7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Laebutag Laston.
7,50 — 9,99	7,5	Lasbutag, Laston.
≥ 10,00	10	Laston

Lanjutan Daftar VIII

2. Lapis Pondasi :

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur.
3,00 – 7,49	20*)	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur,
	10	Laston Atas.
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam.
	15	Laston Atas.
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas.
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas.

\*) batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

3. Lapis Pondasi Bawah :

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm.

## 5.9 Pelapisan Tambahan.

Untuk perhitungan pelapisan tambahan (overlay), kondisi perkerasan jalan lama (existing pavement) dinilai sesuai daftar di bawah ini :

**Daftar IX**  
**Nilai Kondisi Perkerasan Jalan**

<b>1. Lapis Permukaan :</b>	
Umumnya tidak retak, hanya sedikit deformasi pada jalur roda . . . . .	90 – 100%
Terlihat retak halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil . . . . .	70 – 90%
Retak sedang, beberapa deformasi pada jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan . . . . .	50 – 70%
Retak banyak, demikian juga deformasi pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidak stabilan . . . . .	30 – 50%
<b>2. Lapis Pondasi :</b>	
<b>a. Pondasi Aspal Beton atau Penetrasi Macadam.</b>	
Umumnya tidak retak . . . . .	90 – 100%
Terlihat retak halus, namun masih tetap stabil . . . . .	70 – 90%
Retak sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan . . . . .	50 – 70%
Retak banyak, menunjukkan gejala ketidak stabilan . . . . .	30 – 50%
<b>b. Stabilisasi Tanah dengan Semen atau Kapur :</b>	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) $\leq 10$ . . . . .	70 – 100%
<b>c. Pondasi Macadam atau Batu Pecah :</b>	
Indek Plastisitas (Plasticity Index = PI) $\leq 6$ . . . . .	80 – 100%
<b>3. Lapis Pondasi Bawah :</b>	
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) $\leq 6$ . . . . .	90 – 100%
Indek plastisitas (Plasticity Index = PI) $> 6$ . . . . .	70 – 90%

## 5.10 Konstruksi Bertahap.

Konstruksi bertahap digunakan pada keadaan tertentu, antara lain :

1. Keterbatasan biaya untuk pembuatan tebal perkerasan sesuai rencana (misalnya : 20 tahun). Perkerasan dapat direncanakan dalam dua tahap, misalnya tahap pertama untuk 5 tahun, dan tahap berikutnya untuk 15 tahun.
2. Kesulitan dalam memperkirakan perkembangan lalu lintas untuk jangka panjang (misalnya : 20 sampai 25 tahun). Dengan adanya pentahapan, perkiraan lalu lintas diharapkan tidak jauh meleset.
3. Kerusakan setempat (weak spots) selama tahap pertama dapat di perbaiki dan direncanakan kembali sesuai data lalu lintas yang ada.

## 5.11 PELAKSANAAN

### A. Analisa Komponen Perkerasan.

Perhitungan perencanaan ini didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan jangka panjang, dimana penentuan tebal perkerasan dinyatakan oleh ITP (Indeks Tebal Perkerasan), dengan rumus sebagai berikut :

$$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3$$

Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan (daftar VII)

$D_1, D_2, D_3$  = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

Angka 1, 2 dan 3 : masing-masing untuk lapis permukaan lapis pondasi dan lapis pondasi bawah.

### B. Metoda Konstruksi Bertahap.

Metoda perencanaan konstruksi bertahap didasarkan atas konsep "sisa umur". Perkerasan berikutnya direncanakan sebelum perkerasan pertama mencapai keseluruhan "mass fatigue". Untuk itu tahap kedua diterapkan bila jumlah kerusakan (cumulative damage) pada tahap pertama sudah mencapai k1.60%. Dengan demikian "sisa umur" tahap pertama tinggal k.1. 40%.

Untuk menetapkan ketentuan di atas maka perlu dipilih waktu tahap pertama antara 25% - 50% dari waktu keseluruhan.

Misalnya :

UR = 20 tahun, maka tahap I antara 5 - 10 tahun dan tahap II antara 10 -15 tahun.

Perumusan konsep "sisa umur" ini dapat diuraikan sebagai berikut :  $a_1, a_2, a_3$

- Jika pada akhir tahap I tidak ada sisa umur (sudah mencapai fatigue, misalnya timbul retak), maka tebal perkerasan tahap I didapat dengan memasukkan lalu - lintas sebesar  $LER_1$ .
- Jika pada akhir tahap II diinginkan adanya sisa umur k.1. 40% maka perkerasan tahap I perlu ditebalkan dengan memasukan lalu lintas sebesar  $x LER_1$ .
- Dengan anggapan sisa umur linear dengan sisa lalu lintas, maka :

$$x \text{ LER}_1 = \text{LER}_1 + 40\% \times \text{LER}_1$$

(tahap I plus) (tahap I) (sisa tahap I) diperoleh  $x = 1,67$ .

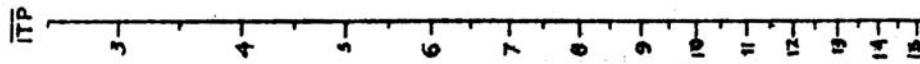
- d. Jika pada akhir tahap I tidak ada sisa umur maka tebal perkerasan tahap II didapat dengan memasukkan lalu lintas sebesar  $\text{LER}_2$ .
- e. Tebal perkerasan tahap I + II didapat dengan memasukkan lalu lintas sebesar  $y$   $\text{LER}_2$ . Karena 60%  $y \text{ LER}_2$  sudah dipakai pada tahap 1 maka :
- $$y \text{ LER}_2 = 60\% y \text{ LER}_2 + \text{LER}_2$$
- (tahap I + II) (tahap I) (tahap II) diperoleh  $y = 2,5$ .
- f. Tebal perkerasan tahap II diperoleh dengan mengurangi tebal perkerasan tahap I + II (lalu lintas  $y \text{ LER}_2$ ) terhadap tebal perkerasan 1 (lalu lintas  $x \text{ LER}_1$ ).
- g. Dengan demikian pada tahap II diperkirakan ITP2 dengan rumus:

$$\text{ITP}_2 = \text{ITP} - \text{ITP}_1$$

ITP didapat dari nomogram dengan  $\text{LER} = 2,5 \text{ LER}_2$ .

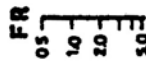
ITP<sub>1</sub> didapat dari nomogram dengan  $\text{LER} = 1,67 \text{ LER}$

Lampiran 1 (1)

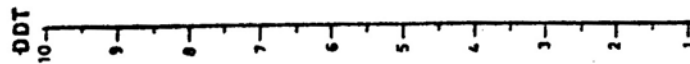
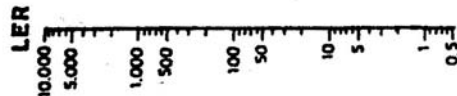
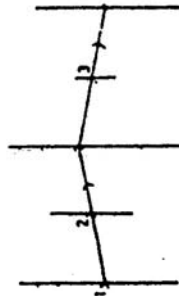
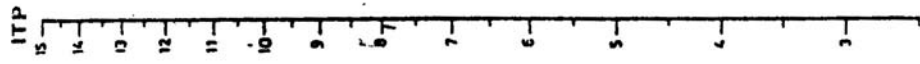


$$G = \log \left( \frac{I_P - I_2}{I_2 - I_1} \right) = A (\log w - \log f)$$

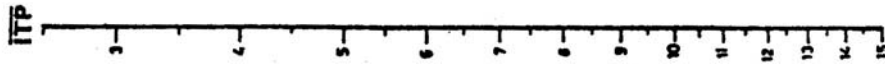
$I_1 = 2.5$   
 $I_2 = 2.5$   
 $I_3 = 4$



Nomogram 1

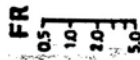


Lampiran 1 (2)

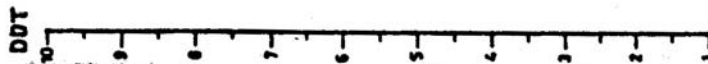
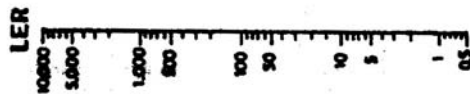
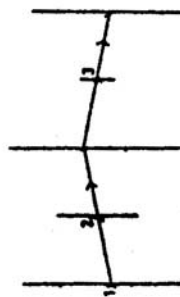
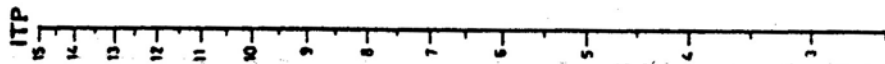


$$G = \log \left( \frac{IP_2 - IP_1}{2.5 - 1.5} \right) = n (\log w - \log f)$$

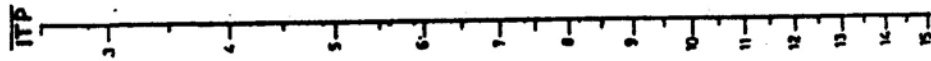
$P = 0.16$   
 $IP_1 = 2.5$   
 $IP_2 = 3.5 - 3.5$



Nomogram 2

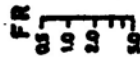


Lampiran 1 (3)

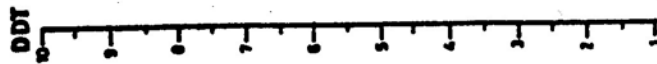
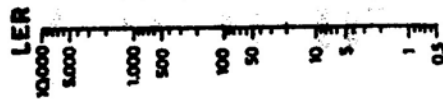
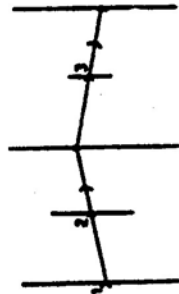
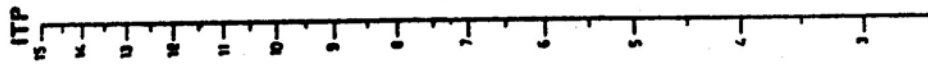


$$G = \log \left( \frac{P}{1-P} \right) = a(\log w - \log f)$$

$P = 0.161$   
 $W = 2$   
 $F = 2.4$

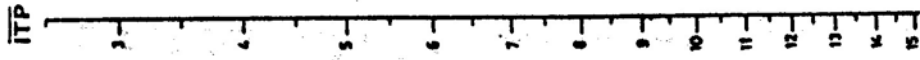


Monogram 3



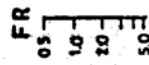


Lampiran 1 (4)

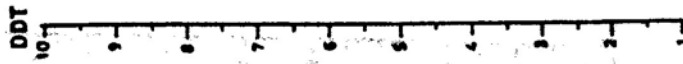
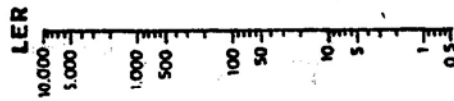
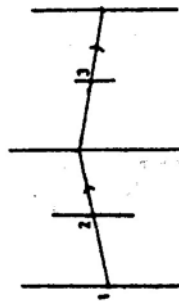
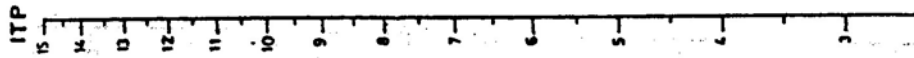


$$G = \log \left( \frac{IP_2 - IP_1}{2.2 - 1.5} \right) = n (\log w - \log f)$$

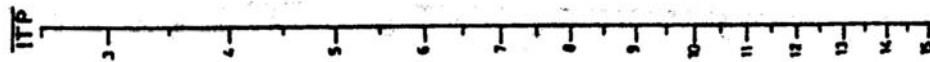
$P = 0.161$   
 $IP_1 = 7$   
 $IP_2 = 3.9 - 3.5$



Nonogram 4.

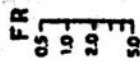


Lampiran 1 (5)

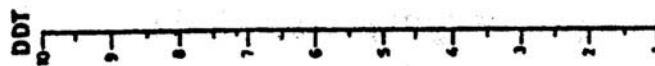
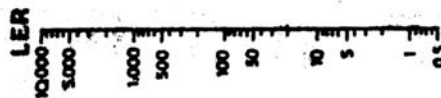
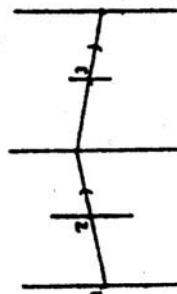
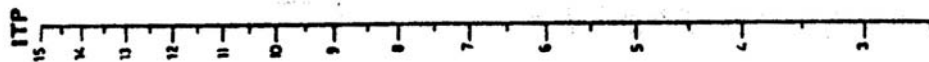


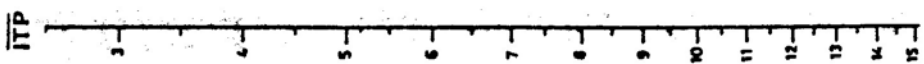
$$G = \log \left( \frac{p_2 - p_1}{2 - p_1} \right) = n (\log w - \log r)$$

$p = 0.161$   
 $p_1 = 1.5$   
 $p_2 = 2.9 - 3.5$



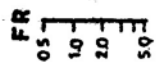
Nomogram 5.



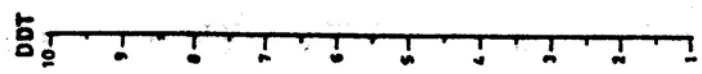
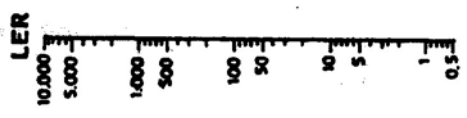
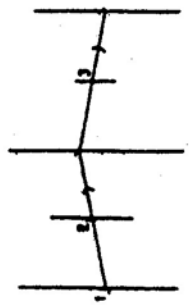
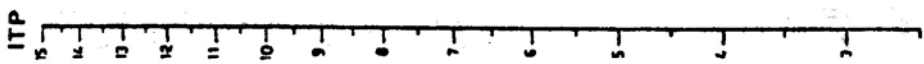


$$G = \log \left( \frac{W_2 - W_1}{2.7 - 1.5} \right) = n (\log w - \log f)$$

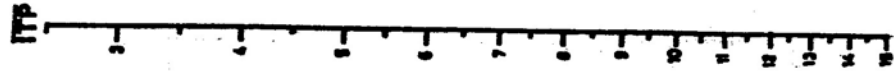
$P = 0.161$   
 $W_1 = 1.5$   
 $W_2 = 3.4 - 3.0$



Nomogram 6.

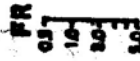


Lampiran 1 (7)

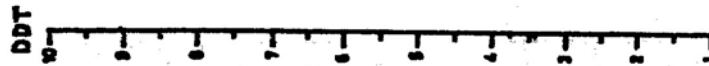
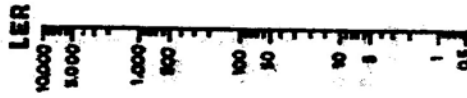
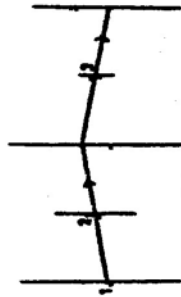
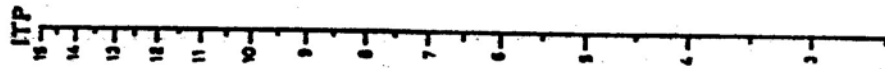


$$G = \log \left( \frac{W}{L^2} \right) = 0 (\log w - \log l^2)$$

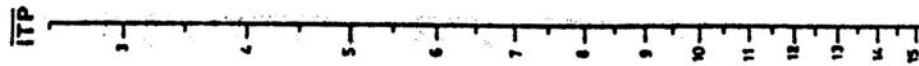
$P = 0,161$   
 $M_1 = 1,3$   
 $M_2 = 2,0 - 2,5$



Nomogram 7.



Lampiran 1 (8)



$$G = \log \left( \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{2} - 1} \right) = 0.1 (\log w - \log r)$$

$$P = 0.161$$

$$M_1 = 1$$

$$M_2 = 2.9 - 2.5$$

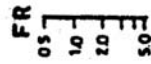
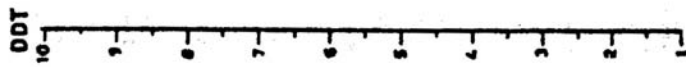
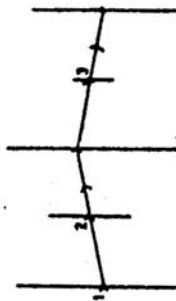
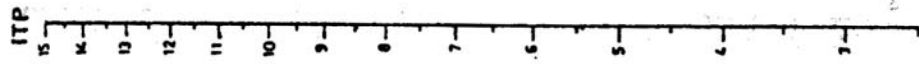
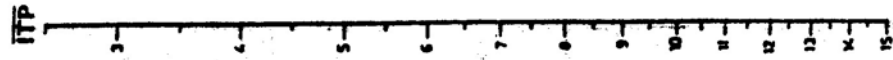


Diagram 8.

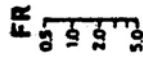


Lampiran 1 (9)

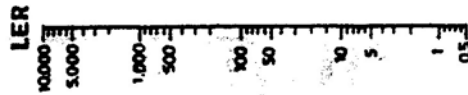
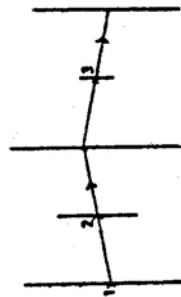
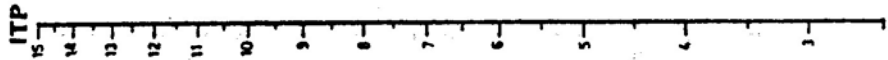


$$G = \log \left( \frac{IP_2 - IP_1}{2 - 1.5} \right) = n(\log w - \log f)$$

$P = 8.16 t$   
 $IP_2 = 1$   
 $IP_1 = 2.4$



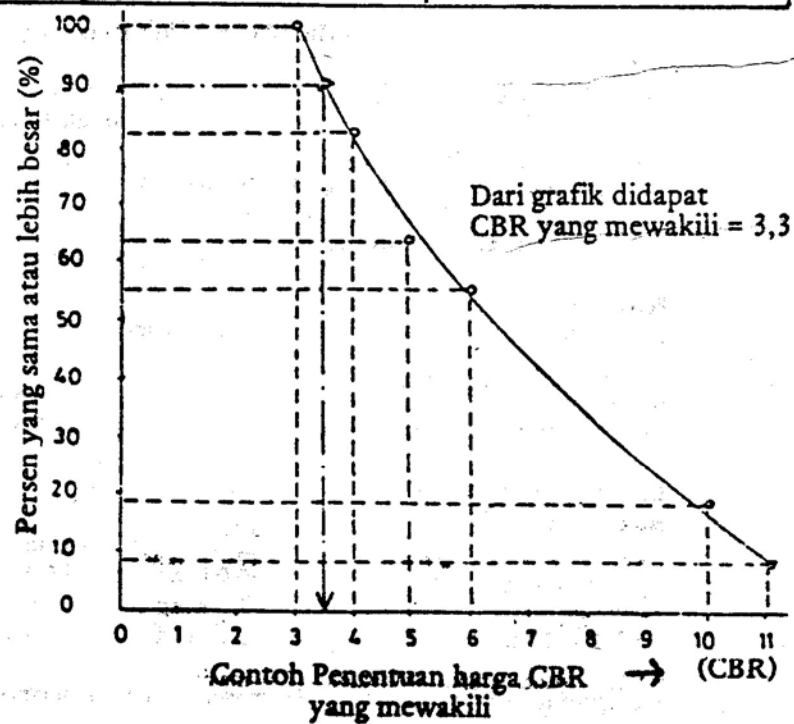
Nonogram 9.



Lampiran 2

Diketahui : Harga CBR = 3; 4; 3; 6; 6; 5; 11; 10; 6; 6; dan 4.

CBR	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen (%) yang sama atau lebih besar
3	11	$11/11 \times 100\% = 100\%$
3	—	—
4	9	$9/11 \times 100\% = 81,8\%$
4	—	—
5	7	$7/11 \times 100\% = 63,6\%$
6	6	$6/11 \times 100\% = 54,4\%$
6	—	—
6	—	—
6	—	—
10	2	$2/11 \times 100\% = 18,2\%$
11	1	$1/11 \times 100\% = 9,0\%$



**A. LALU LINTAS RENDAH**

## 1. Rencanakan :

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu - lintas tahun 1981 seperti di bawah ini, dan umur rencana : a). 5 Tahun ; b 10 Tahun.

Jalan dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

FR = 1,0

CBR tanah dasar = 3,40 %

## 2. Data - data :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	90	Kendaraan
Bus 8 Ton	.....	3	Kendaraan
Truck 2 as 10 ton	.....	2	Kendaraan
LHR 1981 =		95	Kend/Hari/2 Jurusan

Perkembangan lalu - lintas ( i ) ..... Untuk 5 tahun = 8,0 %  
 Untuk 10 tahun = 6,0 %

Bahan - bahan perkerasan :

- Pelaburan (lapis pelindung), Lapis Mekanis
- Batu pecah (CBR 50)
- Tanah kepasiran (CBR 20)

## 3. Penyelesaian :

LHR pada tahun 1985 (awal umur rencana), dengan rumus  $(1 + i)^n$

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	109,40	Kendaraan
Bus 8 Ton	.....	3,65	Kendaraan
Truck 2 as 10 ton	.....	2,43	Kendaraan

LHR pada tahun ke 5 atau ke 10 (akhir umur rencana) :

rumus  $(1 + i)^n$

	5 tahun		10 tahun	
Kendaraan Ringan 2 ton	160,74	Kend	195,91	Kend
Bus 8 Ton	5,36	Kend	6,53	Kend
Truck 2 as 10 ton	3,57	Kend	4,35	Kend

Menghitung angka Ekuivalen (E) masing - masing kendaraan sebagai berikut :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	0,0002	+	0,0002	=	0,00040
Bus 8 Ton	.....	0,0183	+	0,1410	=	0,15930
Truck 2 as 10 ton	.....	0,0577	+	0,2923	=	0,35000



Menghitung LEP

LAMPIRAN (3) 1.b

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j$$

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	109,40	x	0,00040	=	0,02188
Bus 8 Ton .....	0,50	x	3,65	x	0,15930	=	0,29045
Truck 2 as 10 ton .....	0,50	x	2,43	x	0,35000	=	0,42543
LEP							= 0,73775

Menghitung LEA

- 5 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	160,74	x	0,00040	=	0,03215
Bus 8 Ton .....	0,50	x	5,36	x	0,15930	=	0,42676
Truck 2 as 10 ton .....	0,50	x	3,57	x	0,35000	=	0,62509
LEA <sub>5</sub>							= 1,08400

- 10 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	195,91	x	0,00040	=	0,03918
Bus 8 Ton .....	0,50	x	6,53	x	0,15930	=	0,52014
Truck 2 as 10 ton .....	0,50	x	4,35	x	0,35000	=	0,76188
LEA <sub>10</sub>							= 1,32120

Menghitung LET

$$\begin{aligned} LET_5 &= 1/2 (LEP + LEA_5) = 0,5 [ 0,73775 + 1,08400 ] \\ &= 0,9108753 \\ LET_{10} &= 1/2 (LEP + LEA_{10}) = 0,5 [ 0,73775 + 1,32120 ] \\ &= 1,0294761 \end{aligned}$$

Menghitung LER

$$\begin{aligned} LER_5 &= LET_5 \times UR/10 = 0,911 \times 0,5 = 0,455 \\ LER_{10} &= LET_{10} \times UR/10 = 1,029 \times 1,0 = 1,029 \end{aligned}$$

Mencari ITP :

$$\begin{aligned} \text{CBR tanah dasar} &= 3,4 \% \\ \text{DDT} &= 4,0 \\ \text{IP} &= 1,5 \\ \text{FR} &= 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LER_5 &= 0,455 \quad \text{ITP}_5 = 2,8 \quad (\text{IPo} = 2,9 - 2,5) \\ LER_{10} &= 1,029 \quad \text{ITP}_{10} = 3,2 \quad (\text{IPo} = 3,4 - 3,0) \end{aligned}$$

Menetapkan tebal perkerasan

- Koefisien Kekuatan Relatif

$$\begin{aligned} \text{▶ Pelaburan} &= 0,00 = a_1 \\ \text{Lapen mekanis } a_1 &= 0,25 \\ \text{▶ Batu pecah (CBR 50)} &= 0,12 = a_2 \\ \text{▶ Tanah kepasiran (CBR 20)} &= 0,10 = a_3 \end{aligned}$$

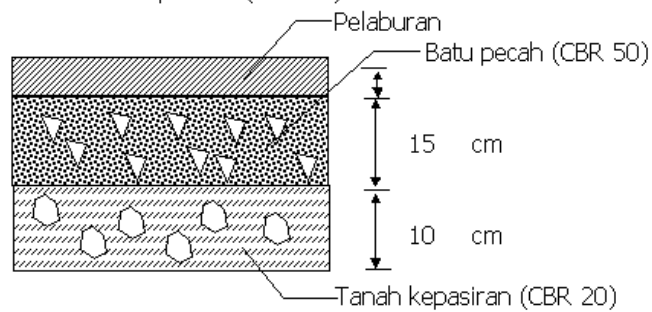
$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

- UR = 5 tahun

$$\begin{aligned}
 \triangleright \text{ITP} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 2,8 &= 0,00 D_1 + 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 2,8 &= 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 \triangleright \text{Batu pecah (CBR 50)} &= 15 \text{ cm} \\
 \triangleright \text{Tanah kepasiran (CBR 20)} &= 10 \text{ cm} \\
 \text{ITP} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 2,8 &= 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 2,8 &= [0,12 \times D_2] + [0,10 \times 10 \text{ cm}] \\
 D_2 &= 15,00 \text{ cm} \\
 D_2 &= 15,00 \text{ cm (minimum)}
 \end{aligned}$$

- Susunan Perkerasan

- ▶ Pelaburan
- ▶ Batu pecah (CBR 50)
- ▶ Tanah kepasiran (CBR 20)

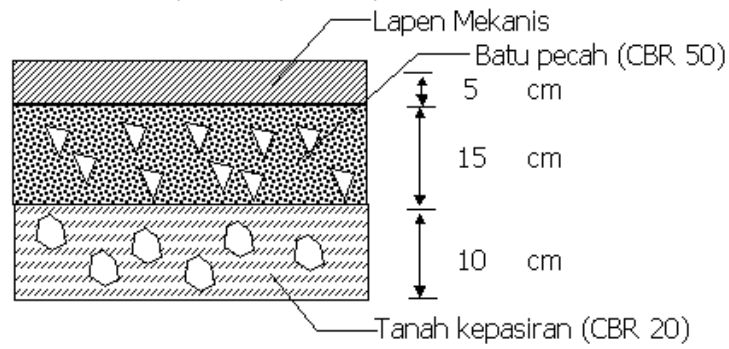


- UR = 10 tahun

$$\begin{aligned}
 \triangleright \text{ITP} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 3,2 &= 0,25 D_1 + 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 3,2 &= 0,25 D_1 + 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 \triangleright \text{Batu pecah (CBR 50)} &= 15 \text{ cm} \\
 \triangleright \text{Tanah kepasiran (CBR 20)} &= 10 \text{ cm} \\
 \text{ITP} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 3,2 &= 0,25 D_1 + 0,12 D_2 + 0,10 D_3 \\
 3,2 &= [0,25 D_1] + [0,12 \times 15] + [0,10 \times 10 \text{ cm}] \\
 D_1 &= 1,60 \text{ cm} \\
 D_1 &= 5,00 \text{ cm (minimum)}
 \end{aligned}$$

- Susunan Perkerasan
  - ▶ Pelaburan
  - ▶ Batu pecah (CBR 50)
  - ▶ Tanah kepasiran (CBR 20)

LAMPIRAN (3) 1.d



**B. LALU LINTAS TINGGI**

## 1. Rencanakan :

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu - lintas tahun 1981 seperti di bawah ini, dan umur rencana : a). 10 Tahun ; b). 20 Tahun.

Jalan dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

FR = 1,0

CBR tanah dasar = 3,40 %

## 2. Data - data :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	1000 Kendaraan
Bus 8 Ton	.....	300 Kendaraan
Truck 2 as 13 ton	.....	50 Kendaraan
Truck 2 as 20 ton	.....	30 Kendaraan
Truck 5 as 30 ton	.....	10 Kendaraan
LHR 1981 =		1390 Kend/Hari/2 Jurusan

Perkembangan lalu - lintas ( i ) ..... Untuk 10 tahun = 8,0 %  
 ..... Untuk 20 tahun = 6,0 %

Bahan - bahan perkerasan :

- Asbuton (MS 744)  $a_1 = 0,35$   
 - Batu pecah (CBR 100)  $a_2 = 0,14$   
 - Sirtu (CBR 50)  $a_3 = 0,12$

## 3. Penyelesaian :

LHR pada tahun 1985 (awal umur rencana), dengan rumus  $(1 + i)^n$

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	1215,51 Kendaraan
Bus 8 Ton	.....	364,65 Kendaraan
Truck 2 as 13 ton	.....	60,78 Kendaraan
Truck 2 as 20 ton	.....	36,47 Kendaraan
Truck 5 as 30 ton	.....	12,16 Kendaraan

LHR pada tahun ke 10 atau ke 20 (akhir umur rencana) :

rumus  $(1 + i)^n$

	10 tahun		20 tahun
Kendaraan Ringan 2 ton	2624,19	Kend	3898,29
Bus 8 Ton	787,26	Kend	1169,49
Truck 2 as 13 ton	131,21	Kend	194,91
Truck 2 as 20 ton	78,73	Kend	116,95
Truck 5 as 30 ton	26,24	Kend	38,98

Menghitung angka Ekuivalen (E) masing - masing kendaraan sebagai berikut :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	0,0002	+	0,0002	=	0,00040
Bus 8 Ton	.....	0,0183	+	0,1410	=	0,15930
Truck 2 as 13 ton	.....	0,141	+	0,9238	=	1,06480
Truck 2 as 20 ton	.....	0,2923	+	0,7452	=	1,03750
Truck 5 as 30 ton	.....	1,0375	+	0,2820	=	1,31950

Menghitung LEP

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j$$

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	1215,51	x	0,00040	=	0,24310
Bus 8 Ton .....	0,50	x	364,65	x	0,15930	=	29,04452
Truck 2 as 13 ton .....	0,50	x	60,78	x	1,06480	=	32,35678
Truck 2 as 20 ton .....	0,50	x	36,47	x	1,03750	=	18,91632
Truck 5 as 30 ton .....	0,50	x	12,16	x	1,31950	=	8,01930
					LEP	=	88,58002

Menghitung LEA

- 10 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	2624,19	x	0,00040	=	0,52484
Bus 8 Ton .....	0,50	x	787,26	x	0,15930	=	62,70494
Truck 2 as 13 ton .....	0,50	x	131,21	x	1,06480	=	69,85585
Truck 2 as 20 ton .....	0,50	x	78,73	x	1,03750	=	40,83891
Truck 5 as 30 ton .....	0,50	x	26,24	x	1,31950	=	17,31307
					LEA <sub>10</sub>	=	191,23762

- 20 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	3898,29	x	0,00040	=	0,77966
Bus 8 Ton .....	0,50	x	1169,49	x	0,15930	=	93,14972
Truck 2 as 13 ton .....	0,50	x	194,91	x	1,06480	=	103,77257
Truck 2 as 20 ton .....	0,50	x	116,95	x	1,03750	=	60,66719
Truck 5 as 30 ton .....	0,50	x	38,98	x	1,31950	=	25,71899
					LEA <sub>20</sub>	=	284,08812

Menghitung LET

$$\begin{aligned} \text{LET}_{10} &= 1/2 (\text{LEP} + \text{LEA}_{10}) = 0,5 \left( 88,58002 + 191,23762 \right) \\ &= 139,9088165 \\ \text{LET}_{20} &= 1/2 (\text{LEP} + \text{LEA}_{20}) = 0,5 \left( 88,58002 + 284,08812 \right) \\ &= 186,3340679 \end{aligned}$$

Menghitung LER

$$\begin{aligned} \text{LER}_{10} &= \text{LET}_{10} \times \text{UR}/10 = 139,9 \times 1,0 = 139,909 \\ \text{LER}_{20} &= \text{LET}_{20} \times \text{UR}/10 = 186,3 \times 2,0 = 372,668 \end{aligned}$$

Mencari ITP :

$$\begin{aligned} \text{CBR tanah dasar} &= 3,4 \% \\ \text{DDT} &= 4,0 \\ \text{IP} &= 2,0 \\ \text{FR} &= 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LER}_{10} &= 139,909 \quad \text{ITP}_{10} = 7,7 \quad (\text{IPo} = 3,9 - 3,5) \\ \text{LER}_{20} &= 372,668 \quad \text{ITP}_{20} = 8,8 \quad (\text{IPo} = 3,9 - 3,5) \end{aligned}$$

- UR = 10 tahun

$$\triangleright \text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$7,7 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$7,7 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$\triangleright D_2 = 20 \text{ cm}$$

$$\triangleright D_3 = 10 \text{ cm}$$

$$\text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$7,7 =$$

$$7,7 = [0,35 \times D_1] + [0,14 \times 20 \text{ cm}] + [0,12 \times 10 \text{ cm}]$$

$$D_1 = 10,57 \text{ cm}$$

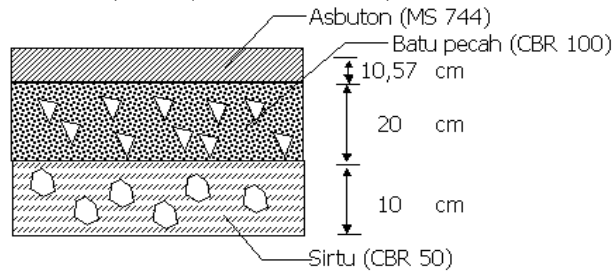
$$D_1 = 10,57 \text{ cm}$$

- Susunan Perkerasan

$$\triangleright \text{Asbuton (MS 744)} = 10,57 \text{ cm}$$

$$\triangleright \text{Batu pecah (CBR 100)} = 20,00 \text{ cm}$$

$$\triangleright \text{Sirtu (CBR 50)} = 10,00 \text{ cm}$$



- UR = 20 tahun

$$\triangleright \text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$8,8 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$8,8 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$\triangleright D_2 = 20 \text{ cm}$$

$$\triangleright D_3 = 10 \text{ cm}$$

$$\text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$8,8 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$8,8 = [0,35 D_1] + [0,14 \times 20] + [0,12 \times 10 \text{ cm}]$$

$$D_1 = 13,71 \text{ cm}$$

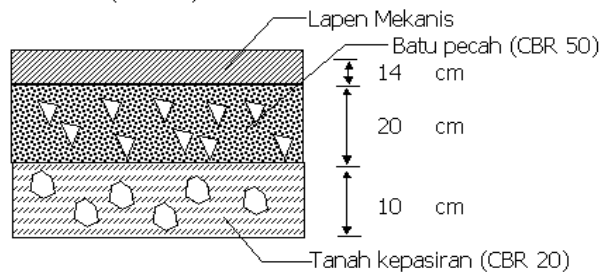
$$D_1 = 14 \text{ cm}$$

- Susunan Perkerasan

$$\triangleright \text{Asbuton (MS 744)} = 14 \text{ cm}$$

$$\triangleright \text{Batu pecah (CBR 100)} = 20 \text{ cm}$$

$$\triangleright \text{Sirtu (CBR 50)} = 10 \text{ cm}$$



**B. LALU LINTAS TINGGI**

## 1. Rencanakan :

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu - lintas tahun 1981 seperti di bawah ini, dan umur rencana : a). 5 + 15 Tahun ; b). 7 + 13 Tahun.

Jalan dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

FR = 1,0

CBR tanah dasar = 3,40 %

## 2. Data - data :

Kendaraan Ringan 2 ton	1000 Kendaraan
Bus 8 Ton	300 Kendaraan
Truck 2 as 13 ton	50 Kendaraan
Truck 2 as 20 ton	30 Kendaraan
Truck 5 as 30 ton	10 Kendaraan
LHR 1981	= 1390 Kend/Hari/2 Jurusan

Perkembangan lalu - lintas ( i ) = 5,0 %

Bahan - bahan perkerasan :

- Asbuton (MS 744)  $a_1 = 0,35$
- Batu pecah (CBR 100)  $a_2 = 0,14$
- Sirtu (CBR 50)  $a_3 = 0,12$

## 3. Penyelesaian :

LHR pada tahun 1985 (awal umur rencana), dengan rumus  $(1 + i)^n$

Kendaraan Ringan 2 ton	1215,51 Kendaraan
Bus 8 Ton	364,65 Kendaraan
Truck 2 as 13 ton	60,78 Kendaraan
Truck 2 as 20 ton	36,47 Kendaraan
Truck 5 as 30 ton	12,16 Kendaraan

LHR pada tahun ke 5, 7 dan ke 20 (akhir umur rencana) :

rumus  $(1 + i)^n$

	5 tahun	7 tahun	20 tahun
Kendaraan Ringan 2 ton	1551,33 Kend	1710,34 Kend	3225,10 Kend
Bus 8 Ton	465,40 Kend	513,10 Kend	967,53 Kend
Truck 2 as 13 ton	77,57 Kend	85,52 Kend	161,25 Kend
Truck 2 as 20 ton	46,54 Kend	51,31 Kend	96,75 Kend
Truck 5 as 30 ton	15,51 Kend	17,10 Kend	32,25 Kend

Menghitung angka Ekuivalen (E) masing - masing kendaraan sebagai berikut :

Kendaraan Ringan 2 ton	0,0002	+	0,0002	=	0,00040
Bus 8 Ton	0,0183	+	0,1410	=	0,15930
Truck 2 as 13 ton	0,141	+	0,9238	=	1,06480
Truck 2 as 20 ton	0,2923	+	0,7452	=	1,03750
Truck 5 as 30 ton	1,0375	+	0,2820	=	1,31950

Menghitung LEP

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j$$

Kendaraan Ringan 2 ton	0,50	x	1215,51	x	0,00040	=	0,24310
Bus 8 Ton	0,50	x	364,65	x	0,15930	=	29,04452
Truck 2 as 13 ton	0,50	x	60,78	x	1,06480	=	32,35678
Truck 2 as 20 ton	0,50	x	36,47	x	1,03750	=	18,91632
Truck 5 as 30 ton	0,50	x	12,16	x	1,31950	=	8,01930
			LEP			=	88,58002

Menghitung LEA

- 5 tahun

Kendaraan Ringan 2 ton	0,50	x	1551,33	x	0,00040	=	0,31027
Bus 8 Ton	0,50	x	465,40	x	0,15930	=	37,06899
Truck 2 as 13 ton	0,50	x	77,57	x	1,06480	=	41,29636
Truck 2 as 20 ton	0,50	x	46,54	x	1,03750	=	24,14255
Truck 5 as 30 ton	0,50	x	15,51	x	1,31950	=	10,23489
			LEA <sub>5</sub>			=	113,05304

- 7 tahun

Kendaraan Ringan 2 ton	0,50	x	1710,34	x	0,00040	=	0,34207
Bus 8 Ton	0,50	x	513,10	x	0,15930	=	40,86856
Truck 2 as 13 ton	0,50	x	85,52	x	1,06480	=	45,52923
Truck 2 as 20 ton	0,50	x	51,31	x	1,03750	=	26,61716
Truck 5 as 30 ton	0,50	x	17,10	x	1,31950	=	11,28396
			LEA <sub>7</sub>			=	124,64098

- tahun

Kendaraan Ringan 2 ton	0,50	x	3225,10	x	0,00040	=	0,64502
Bus 8 Ton	0,50	x	967,53	x	0,15930	=	77,06376
Truck 2 as 13 ton	0,50	x	161,25	x	1,06480	=	85,85216
Truck 2 as 20 ton	0,50	x	96,75	x	1,03750	=	50,19062
Truck 5 as 30 ton	0,50	x	32,25	x	1,31950	=	21,27760
			LEA <sub>20</sub>			=	235,02916

Menghitung LET

$$\begin{aligned} LET_5 &= 1/2 (LEP + LEA_5) = 0,5 [ 88,58002 + 113,05304 ] \\ &= 100,8165309 \\ LET_7 &= 1/2 (LEP + LEA_7) = 0,5 [ 88,58002 + 124,64098 ] \\ &= 106,6104993 \\ LET_{15} &= 1/2 (LEA_5 + LEA_{20}) = 0,5 [ 113,05304 + 235,02916 ] \\ &= 174,0411011 \\ LET_{13} &= 1/2 (LEA_7 + LEA_{20}) = 0,5 [ 124,64098 + 235,02916 ] \\ &= 179,8350696 \end{aligned}$$

Menghitung LER

$$\begin{aligned} LER_5 &= LET_{10} \times UR/10 = 100,8 \times 0,5 = 50,408 \\ LER_7 &= LET_7 \times UR/10 = 106,6 \times 0,7 = 74,627 \\ LER_{15} &= LET_{15} \times UR/10 = 174 \times 1,5 = 261,062 \\ LER_{13} &= LET_{13} \times UR/10 = 179,8 \times 1,3 = 233,786 \end{aligned}$$

$$1,67 LER_5 = 84,182$$

$$1,67 LER_7 = 124,628$$

$$2,50 LER_{15} = 652,654$$

$$2,50 LER_{13} = 584,464$$



Mencari ITP :

CBR tanah dasar	=	3,4	%
DDT	=	4,0	
IP	=	2,0	
FR	=	1,0	

1,67	LER <sub>5</sub>	=	84,182	.....	ITP <sub>5</sub>	=	7,0	(IPo = 3,9 - 3,5)
1,67	LER <sub>7</sub>	=	124,628	.....	ITP <sub>7</sub>	=	7,5	(IPo = 3,9 - 3,5)
2,50	LER <sub>15</sub>	=	652,654	.....	ITP <sub>5+15</sub>	=	9,7	(IPo = 3,9 - 3,5)
2,50	LER <sub>13</sub>	=	584,464	.....	ITP <sub>7+13</sub>	=	9,6	(IPo = 3,9 - 3,5)

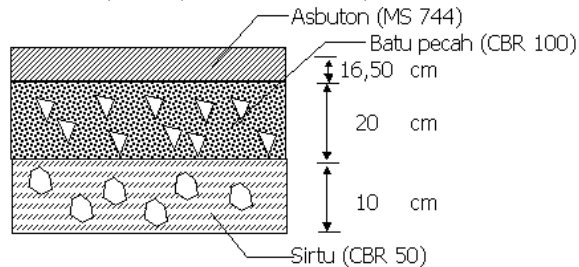
Menetapkan tebal perkerasan

- UR = (5 + 15 Tahun)

$$\begin{aligned}
 &\triangleright \text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 &9,7 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3 \\
 &9,7 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3 \\
 &\triangleright D_2 = 20 \text{ cm} \\
 &\triangleright D_3 = 10 \text{ cm} \\
 &\text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 &9,7 = \\
 &9,7 = (0,35 \times D_1) + (0,14 \times 20 \text{ cm}) + (0,12 \times 10 \text{ cm}) \\
 &D_1 = 16,29 \text{ cm} \\
 &D_1 = 16,50 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Susunan Perkerasan

- ▶ Asbuton (MS 744) = 16,50 cm
- ▶ Batu pecah (CBR 100) = 20,00 cm
- ▶ Sirtu (CBR 50) = 10,00 cm

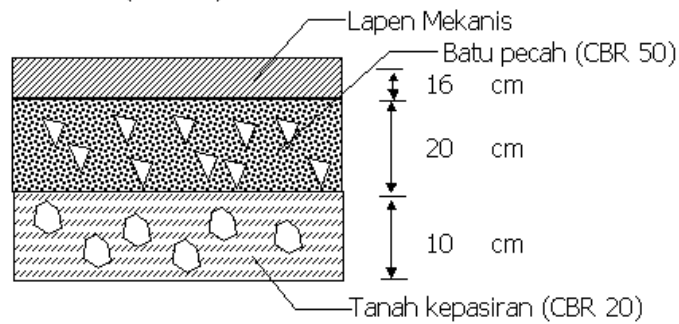


- UR = (7 + 13 tahun)

$$\begin{aligned}
 &\triangleright \text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 &9,6 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3 \\
 &9,6 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3 \\
 &\triangleright D_2 = 20 \text{ cm} \\
 &\triangleright D_3 = 10 \text{ cm} \\
 &\text{ITP} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \\
 &9,6 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3 \\
 &9,6 = (0,35 D_1) + (0,14 \times 20) + (0,12 \times 10 \text{ cm}) \\
 &D_1 = 16,00 \text{ cm} \\
 &D_1 = 16 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

## - Susunan Perkerasan

- ▶ Asbuton (MS 744) = 16 cm
- ▶ Batu pecah (CBR 100) = 20 cm
- ▶ Sirtu (CBR 50) = 10 cm



## - UR = 5 tahun

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$7,0 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,12 D_3$$

$$7,0 = [0,35 D_1] + [0,14 \times 20] + [0,12 \times 10 \text{ cm}]$$

$$D_1 = 8,57 \text{ cm}$$

$$D_1 = 8,6 \text{ cm}$$

## - UR = 7 tahun

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

$$7,5 = 0,35 D_1 + 0,14 D_2 + 0,00 D_3$$

$$7,5 = [0,35 D_1] + [0,14 \times 20] + [0,12 \times 10 \text{ cm}]$$

$$D_1 = 10,00 \text{ cm}$$

$$D_1 = 10,0 \text{ cm}$$

**B. LALU LINTAS TINGGI**

## 1. Rencanakan :

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu - lintas tahun 1981 seperti di bawah ini, dan umur rencana : a). 5 Tahun ; b). 15 Tahun.

Bahan - bahan perkerasan jalan lama:

- Asbuton (MS 744)	$a_1 = 0,35$	$D_1 = 10,57$	cm
- Batu pecah (CBR 100)	$a_2 = 0,14$	$D_2 = 20,00$	cm
- Sirtu (CBR 50)	$a_3 = 0,12$	$D_3 = 10,00$	cm

FR = 1,0

CBR tanah dasar = 3,40 %

Hasil penilai kondisi jalan menunjukkan bahwa pada lapis permukaan asbuton terlihat crack sedang, beberapa deformasi pada jalur roda (kondisi 60 %) akibat jumlah lalu lintas melebihi perkiraan semula.

## 2. Data - data :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	2000 Kendaraan
Bus 8 Ton	.....	600 Kendaraan
Truck 2 as 13 ton	.....	100 Kendaraan
Truck 2 as 20 ton	.....	60 Kendaraan
Truck 5 as 30 ton	.....	20 Kendaraan
LHR 1981 =		2780 Kend/Hari/2 Jurusan

Perkembangan lalu - lintas ( i )	..... Untuk 10 tahun	= 8,0 %
	..... Untuk 20 tahun	= 6,0 %

## 3. Penyelesaian :

LHR pada tahun ke 5 atau ke 15 (akhir umur rencana) :

rumus  $(1 + i)^n$

	5 tahun		15 tahun	
Kendaraan Ringan 2 ton	2938,66	Kend	4793,12	Kend
Bus 8 Ton	881,60	Kend	1437,93	Kend
Truck 2 as 13 ton	146,93	Kend	239,66	Kend
Truck 2 as 20 ton	88,16	Kend	143,79	Kend
Truck 5 as 30 ton	29,39	Kend	47,93	Kend

Menghitung angka Ekuivalen (E) masing - masing kendaraan sebagai berikut :

Kendaraan Ringan 2 ton	.....	0,0002	+	0,0002	= 0,00040
Bus 8 Ton	.....	0,0183	+	0,1410	= 0,15930
Truck 2 as 13 ton	.....	0,141	+	0,9238	= 1,06480
Truck 2 as 20 ton	.....	0,2923	+	0,7452	= 1,03750
Truck 5 as 30 ton	.....	1,0375	+	0,2820	= 1,31950

## Menghitung LEP

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times Ej$$

Kendaraan Ringan 2 ton	0,50	x	2000,00	x	0,00040	=	0,40000
Bus 8 Ton	0,50	x	600,00	x	0,15930	=	47,79000
Truck 2 as 13 ton	0,50	x	100,00	x	1,06480	=	53,24000
Truck 2 as 20 ton	0,50	x	60,00	x	1,03750	=	31,12500
Truck 5 as 30 ton	0,50	x	20,00	x	1,31950	=	13,19500
					LEP	=	145,75000

## Menghitung LEA

- 5 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	2938,66	x	0,00040	=	0,58773
Bus 8 Ton .....	0,50	x	881,60	x	0,15930	=	70,21919
Truck 2 as 13 ton .....	0,50	x	146,93	x	1,06480	=	78,22703
Truck 2 as 20 ton .....	0,50	x	88,16	x	1,03750	=	45,73284
Truck 5 as 30 ton .....	0,50	x	29,39	x	1,31950	=	19,38778
					LEA <sub>5</sub>	=	214,15457

- 15 Tahun

Kendaraan Ringan 2 ton .....	0,50	x	4793,12	x	0,00040	=	0,95862
Bus 8 Ton .....	0,50	x	1437,93	x	0,15930	=	114,53152
Truck 2 as 13 ton .....	0,50	x	239,66	x	1,06480	=	127,59276
Truck 2 as 20 ton .....	0,50	x	143,79	x	1,03750	=	74,59287
Truck 5 as 30 ton .....	0,50	x	47,93	x	1,31950	=	31,62259
					LEA <sub>15</sub>	=	349,29836

## Menghitung LET

$$\text{LET}_5 = 1/2 (\text{LEP} + \text{LEA}_5) = 0,5 \left[ 145,75000 + 214,15457 \right] = 179,9522836$$

$$\text{LET}_{15} = 1/2 (\text{LEP} + \text{LEA}_{15}) = 0.5 \left[ 145,75000 + 349,29836 \right] = 247,5241783$$

### Menghitung LER

$$LER_5 = LET_5 \times UR/10 = 180 \times 0,5 = 89,976$$

$$LER_{15} = LET_{15} \times UR/10 = 247,5 \times 1,5 = 371,286$$

Mencari ITP :

CBR tanah dasar = 3,4 %

$$\text{DDT} = 4,0$$

$$IP = 2,0$$

$$FR = 1,0$$

$$\text{LER}_5 = 89,976 \dots \dots \dots \text{ITP}_5 = 7,1 \quad (\text{IPo} = 3,9 - 3,5)$$

$$\text{LER}_{15} = 371,286 \dots \dots \dots \text{ITP}_{15} = 8,8 \quad (\text{IPo} = 3,9 - 3,5)$$

Kekuatan jalan lama:

$$\text{Asbuton (MS 744)} = 60\% \times 0,35 \times 10,57 \text{ cm} = 2,22$$

$$\text{- Batu pecah (CBR 100)} = 100\% \times 0,14 \times 20,00 \text{ cm} = 2,80$$

$$\begin{array}{lcl} \text{- Sirtu (CBR 50)} & = & 100\% \times 0,12 \times \frac{10,00 \text{ cm}}{\text{ITP ada}} = \frac{1,20}{6,22} \end{array}$$

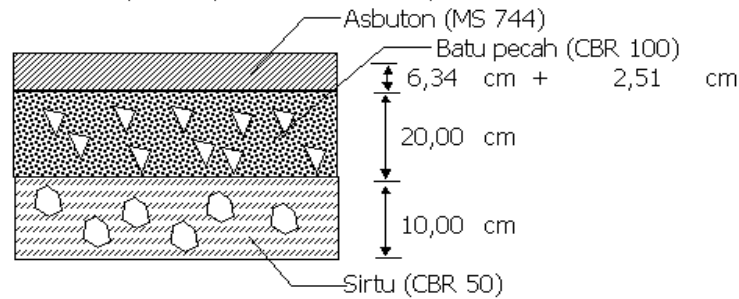
LAMPIRAN (3) 4.c

- UR = 5 tahun

$$\begin{aligned} \Delta ITP &= ITP_5 - ITP \\ &= 7,1 - 6,22 \\ &= 0,88 \\ 0,88 &= 0,35 D_1 \\ D_1 &= 2,51 \text{ cm} \\ D_1 &= 2,51 \text{ cm (Ditambahkan)} \end{aligned}$$

- Susunan Perkerasan

- ▶ Asbuton (MS 744) = 2,51 cm
- ▶ Asbuton (MS 744) = 6,34 cm
- ▶ Batu pecah (CBR 100) = 20,00 cm
- ▶ Sirtu (CBR 50) = 10,00 cm



- UR = 15 tahun

$$\begin{aligned} \Delta ITP &= ITP_{15} - ITP \\ &= 8,8 - 6,22 \\ &= 2,58 \\ 2,58 &= 0,35 D_1 \\ D_1 &= 7,37 \text{ cm} \\ D_1 &= 7,50 \text{ cm (Ditambahkan)} \end{aligned}$$

- Susunan Perkerasan

- ▶ Asbuton (MS 744) = 7,50 cm
- ▶ Asbuton (MS 744) = 6,34 cm
- ▶ Batu pecah (CBR 100) = 20,00 cm
- ▶ Sirtu (CBR 50) = 10,00 cm

