

Bab 5 Perancangan Tebal Perkerasan

5.1. PENDAHULUAN

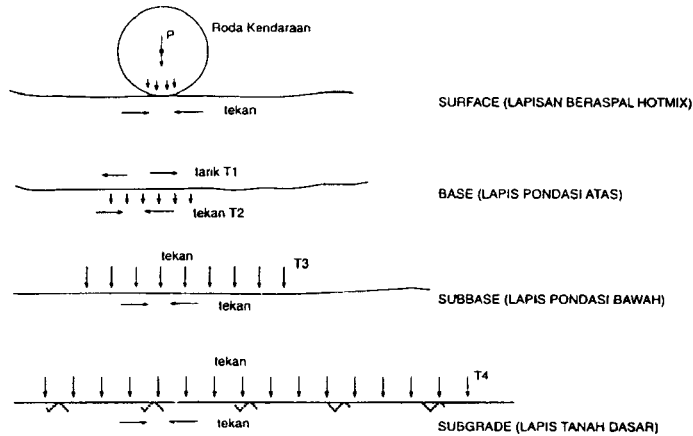
Bab ini memuat dasar-dasar perancangan tentang perancangan tebal perkerasan, meliputi: Konsep kerusakan pada perkerasan karena kelelahan akibat beban berulang, faktor beban, faktor daya dukung tanah, perancangan tebal perkerasan lentur (flexible pavement), perancangan tebal perkerasan kaku (rigid pavement)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

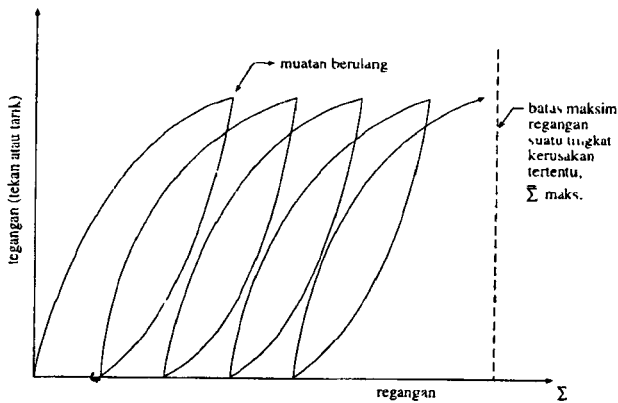
Lapisan permukaan merupakan suatu lapisan yang “bound” (terikat), sehingga lapisan tersebut dapat menahan gaya tekan tarik. Umumnya karena lapisan perkerasan ini dapat mendukung tegangan tekan yang lebih besar daripada tegangan tarik, maka tegangan tarik dibagian bawah lapisan biasanya lebih menentukan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

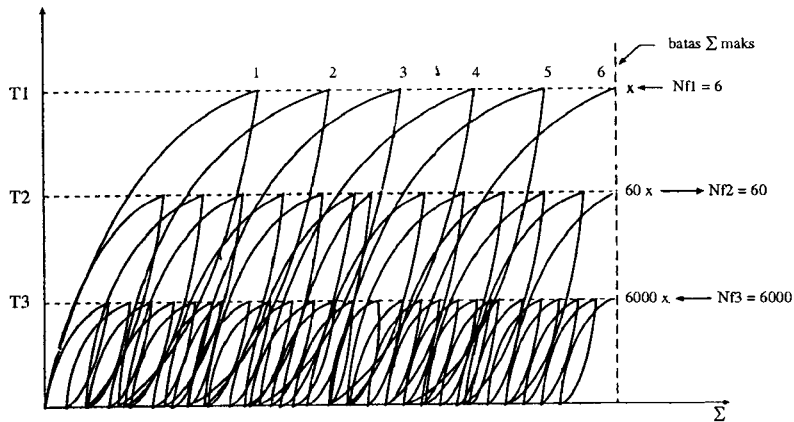
Pada perancangan dibuat perkerasan yang baik, seyogyanya perkerasan dibuat agar kerusakan terjadi pada lapisan permukaan dahulu, lapisan yang lebih bawah pada saat yang sama masih relatif baik. Jadi kalau ada perbaikan langsung, perbaikan dapat dilaksanakan hanya pada lapisan permukaan tersebut sehingga 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 :

- a. Mempertebal lapisan.
- b. Memakai lapisan yang lebih baik mutunya.
- c. 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 / biaxles, 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 $E = 1/6 E_{max}$, 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 :

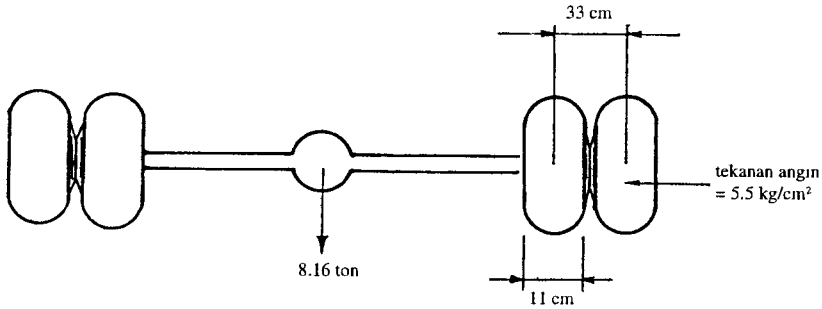
$$DF P_3 = 1 \text{ maka } DF P_1 = 1000 \text{ dan } DF P_2 = 100$$

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 dinegara bagian Illinois, USA (AASHO) 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.

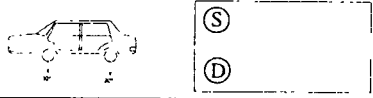
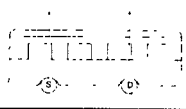
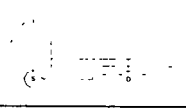
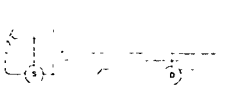
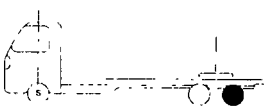
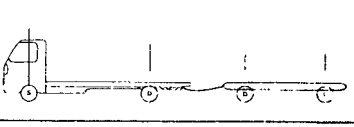
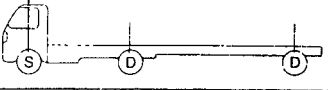
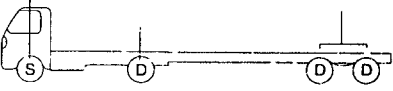
Dari hasil AASTHO Road Test (1960) telah pula disusun Tabel EAL, yang memberikan angka ekivalen untuk beban sumbu tunggal dan sumbu tandem yang besarnya pada umumnya berkisar antara perumusan oleh bina Marga (1972) serta Imawan dan Mochtar (1990).

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	
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 tetapi 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 :

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

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)

$$Gt = \log = \left[\frac{4,2 - Pt}{4,2 - 1,5} \right] \text{ fungsi logaritma dari ratio5.5.2}$$

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

β = 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 :

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

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 :

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

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 :

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

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.

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

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 ekuivalen 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 ¹	No. of Axles ²	Equiv.18 kip Single Axles
Single Axles				
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
Tandem Axles				
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				

¹ For pt = 2.5, and SN = 3.0

² 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 ekuivalen 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 Pt = 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/>			<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/>			<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.

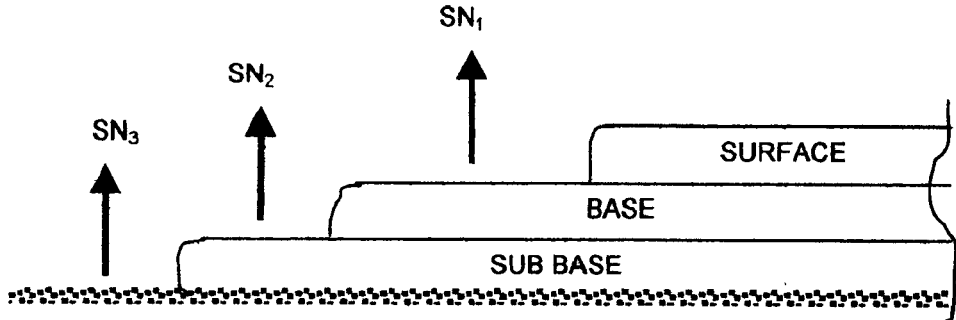
$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

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

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

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

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



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 :

$$SN_1 = 2,55$$

$$SN_2 = 3,88$$

$$SN_3 = 5,80.$$

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 = $SN_1/a_2 = 2,55/0,44 = 5,8'' = 147 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} \text{Tebal agregat minimum yang dibutuhkan} &= SN_2 - SN_1 / a_2 \\ &= (3,88 - 2,55) / 0,14 \\ &= 8,9'' = 226 \text{ mm} \end{aligned}$$

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 inchi.

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

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

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 Ekivalen Tengah (LET) adalah jumlah lintas ekivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lbs) pada jalur rencana pada pertengahan umur rencana.
- Lintas Ekivalen Rencana (LER) adalah suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekivalen 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 Ekivalen Axle Load (EAL)

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

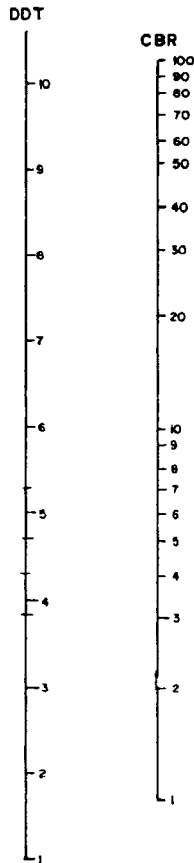
$$\text{Angka ekivalen sumbu tunggal (E/EAL)} = \left(\frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg.}}{8160} \right)^4$$

$$\text{Angka ekivalen sumbu ganda (E/EAL)} = \left(\frac{\text{beban satu sumbu ganda dalam Kg.}}{8160} \right)^4$$

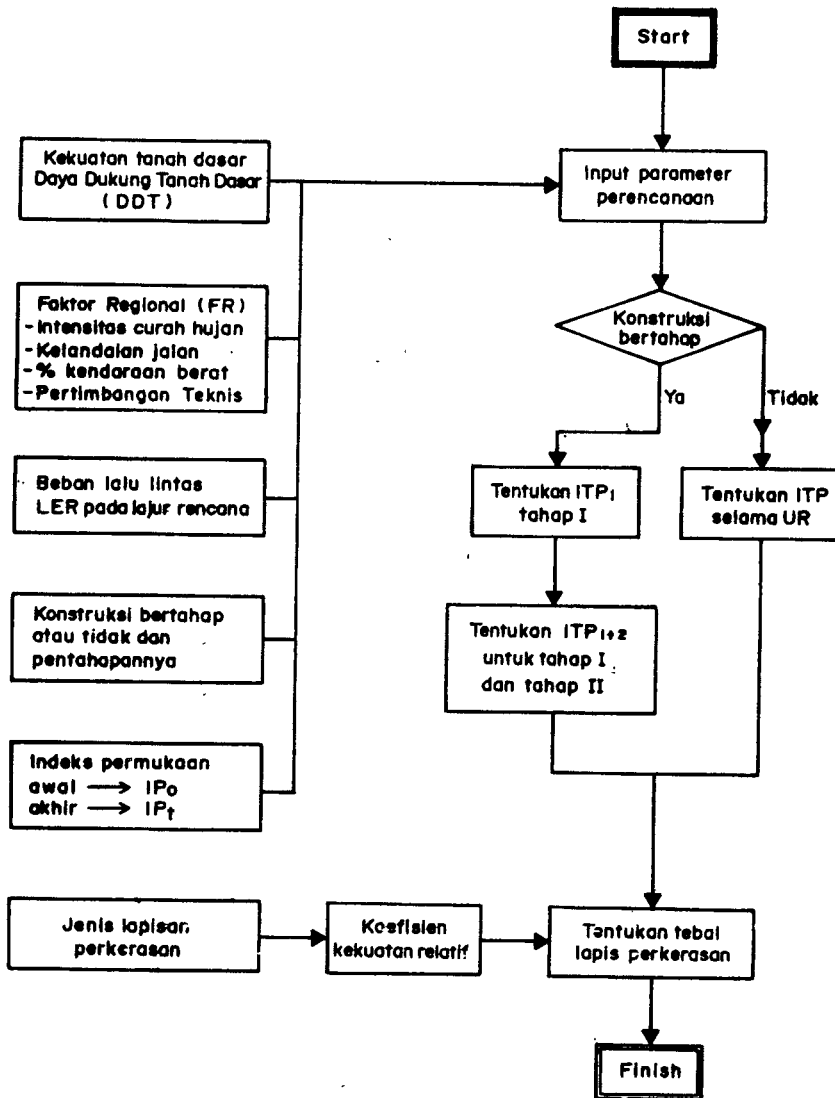
d. Perhitungan Tebal Perkerasan

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 1 (<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	10,5 - 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

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)

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

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

$$LET = 1/2 (LEP + LEA)$$

$$LER = LET \times FP$$

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 lalulintas tahunan dari survey lalulintas dilakukan sampai saat jalan tersebut dibuka.
 n' = Jumlah tahun dari saat diadakan pengamatan sampai jalan tersebut dibuka.
 LEA = Lintas Ekivalen Akhir.
 r = Faktor pertumbuhan lalulintas 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 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

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 :
- a₁, a₂, a₃ adalah kekuatan relatif dari Tabel (5.4) untuk lapis permukaan (a₁), lapis pondasi atas (a₂) dan lapis pondasi bawah (a₃).
 - D₁, D₂, D₃ adalah tebal masing-masing lapisan dalam cm untuk lapis permukaan (D₁), lapis pondasi atas (D₂), dan lapis pondasi bawah (D₃).

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 ²)	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			
	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	Pondasi Macadan (basah) Pondasi Macadan (kering) Batu pecah (kelas A) Batu pecah (kelas B) Batu pecah (kelas C) Sirtu/pitrun (kelas A) Sirtu/pitrun (kelas B) Sirtu/pitrun (kelas C)
	0,13				80	
	0,12				60	
		0,13		22	70	
		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 3,00-6,70	5	Lapisan pelindung, BURAS, BURTU/ BURDA
6,71-7,49	7,5	LAPEN/aspal macadam, HRA, asbuton, LASTON
7,50-9,99	7,5	LAPTEN/aspal macadam, HRA, asbuton, 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
7,90-9,99	10 20*)	LASTON ATAS Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam
10,00-12,24	15 20	LASTON ATAS 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 x UR/10	$140 \times 10/10 = 140$
LER20 = LET20 x 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

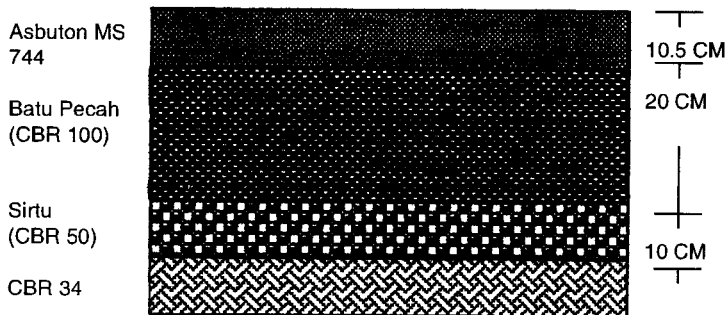
ITP = a1 D1 + a2 D2 + a3 D3

7,7 = 0,35 D1 + 0,14 . 20 + 0,12 . 10 = 0,35 . D1 + 4

D1 = 10,5 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 = a1 D1 + a2 D2 + a3 D3

8,8 = 0,35 . D1 + 0,14 . 20 + 0,12 . 10 = 0,35 . D1 + 4

D1 = 13,7 (14 cm

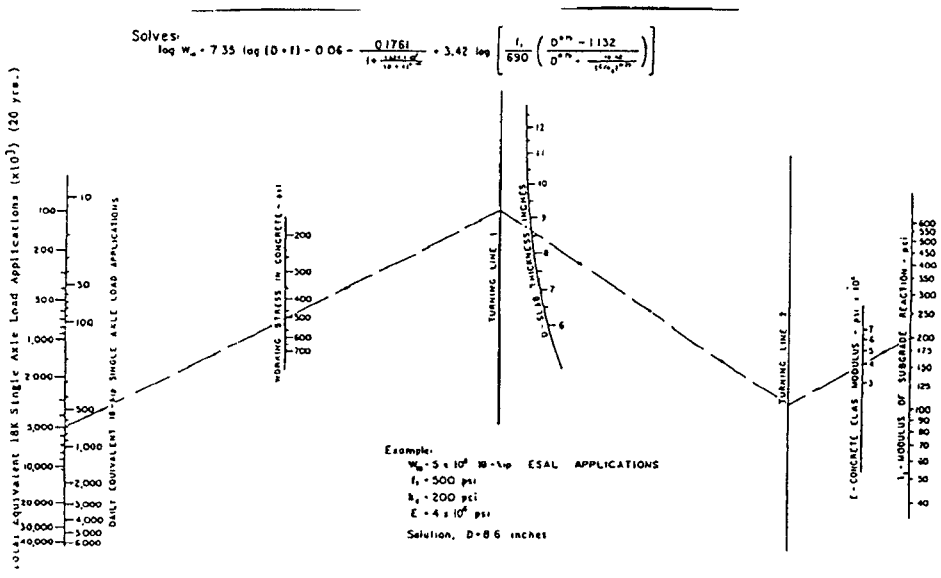
– Susunan Perkerasan

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

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 ≈ 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

Tebal Perkerasan in	Dowel Diameter in	Panjang Dowel in	Jarak Dowel in
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 fott 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)

$$A_s = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 150 \cdot 10^3 / 1}{2 \cdot 45.000} = 0,09 \text{ inchi}^2 (58 \text{ mm}^2) - \text{memanjang}$$

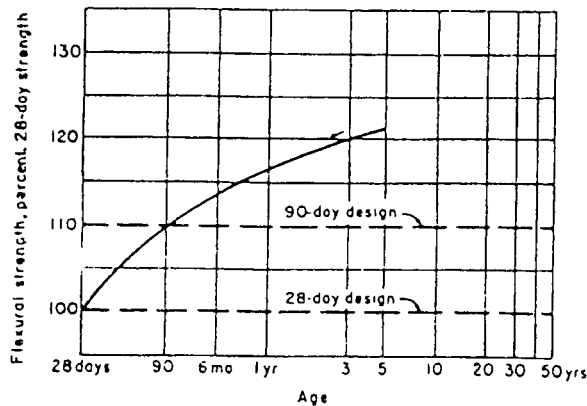
$$A_s = \frac{1,5 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 10^3 / 12}{2 \cdot 45.000} = 0,05 \text{ inchi}^2 (32 \text{ mm}^2) - \text{melintang}$$

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 or repture (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 Repture, 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.

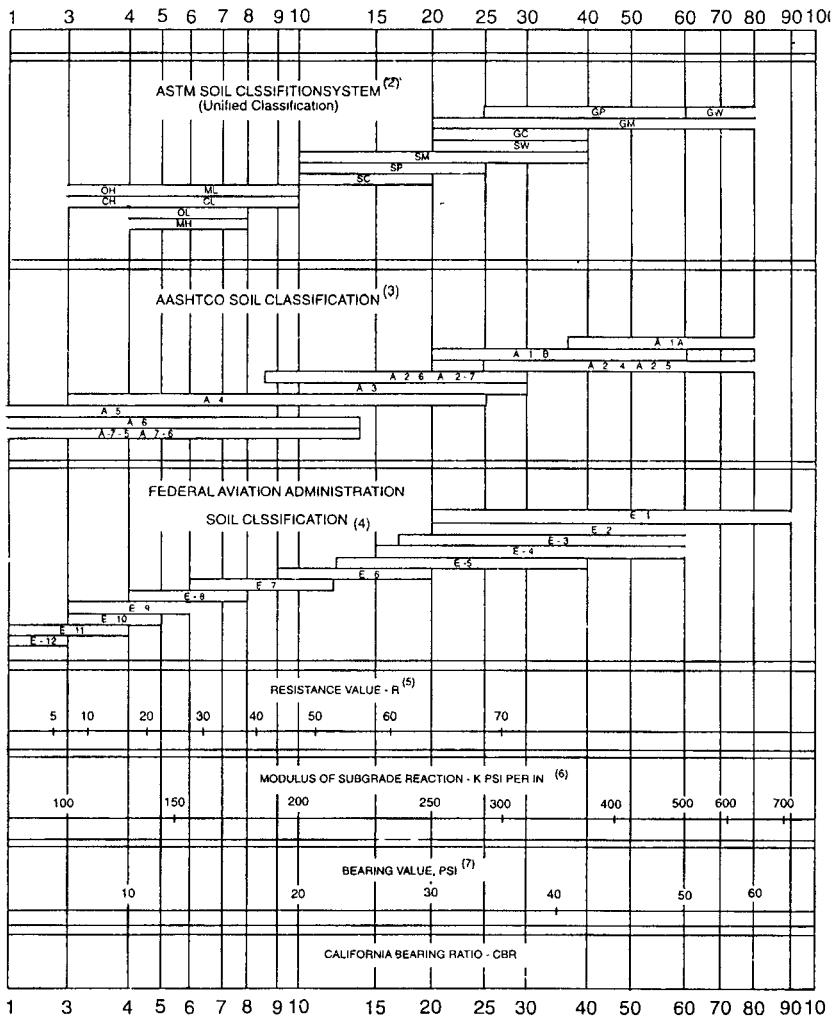
Proyeksi

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

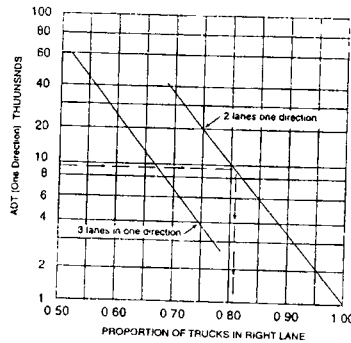
* Faktor represent values at midedesign period that are widely used in curren practice. Anothre methode of computing these factors is base on the average annual value. Differences (both compound interest) between these two methode will rarely affect design.



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

ADTT (Annual Daily Truck Traffic)

ADTT dapat dihasilkan dari prosentase ADT. Hanya truck 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 pada 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
Single axles			
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
Tandem Axles			
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 (Erosian/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 thickness 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

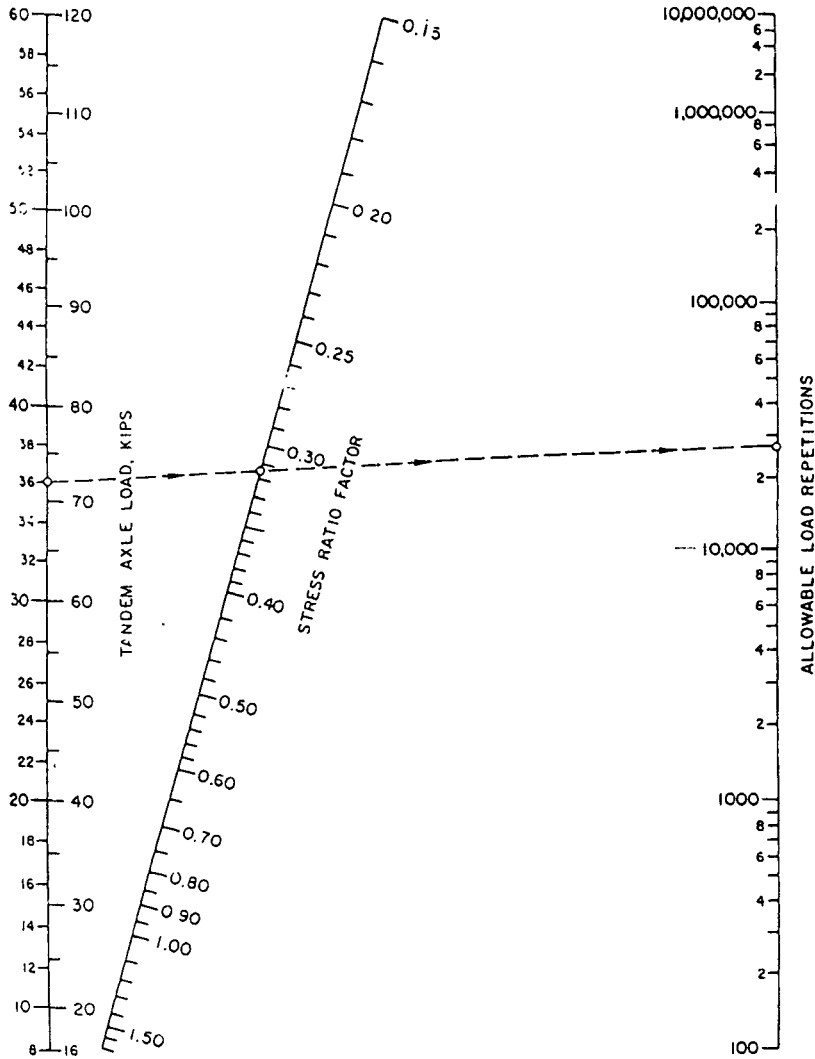
11. Equivalent 192

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 lalu lintas

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

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

- 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)

(α RATA-RATA = 45°)

5.1. HUKUM KESEIMBANGAN

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

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

$$r = h$$

(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)

σ = faktor keadaan crainege

n = faktor keadaan tanah dan curah hujan

c. DORMON & JEIRFEROY'S

$$E = 100 \text{ CBR} \quad \left\| \right. \quad Tt = C/E \text{ CBR}$$

$$\sigma t = 0,008 E \quad \left\| \right.$$

d. GANDAR TUNGGAL STANDARD

PO = 1/2 P

e. h DALAM CM

Po DALAM TON

n DALAM L.E.A.

σt DALAM CBR

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

Dimana :

$$no = \vartheta \cdot n \cdot n$$

$$h = D_1 + D_2 + D_3$$

D_1 & D_2 = Menurut persyaratan

ϑ & π = faktor regional, periksa daftar terlampir

5.4. KELAS JALAN MENURUT GANDAR TUNGGAL STANDARD

- a. KELAS INTERNASIONAL $Po = 8$ TON
- b. KELAS I $Po = 7$ TON
- c. KELAS II $Po = 5$ TON
- d. KELAS III $Po = 3,5$ TON

didapat :

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

di mana

$$No = \varphi \cdot \pi \cdot N$$

$$h = D_1 + D_2 + D_3$$

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

dan

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

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

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

- 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 (Pi). Pengaruh Pi ini harus diekivalenkan dengan Po (tekanan gandar tunggal standard).

5.6.a. Analisa

Asumsi : Pi dengan n kali lewat pengaruhnya ekivalen dengan Po dengan n kali lewat.

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

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_1 (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} \quad \parallel \quad \text{HARUS SAMA}$$

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_1 (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} \quad \parallel$$

harus sama :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_1 (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} = 20 \sqrt{\frac{P_1 (1 - 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}}$$

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

$$(5.5.a.1) \log e = P_o \frac{(P_1 - 1) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

atau

$$(5.5.a.2) \text{ Anti log } \frac{(P_1 - 1) (1 - 0,7 \log n_o)}{0,7}$$

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 :

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

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

$\log e =$

Bila $\log e = Y$

$\log n_o = X$

$$\frac{\frac{P_i}{P_o} - 1}{0,7} = a$$

$$\frac{\frac{P_i}{P_o} - 1}{0,7} = b$$

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

maka $D_1 = h$

$D_2 = h_2 - D_1$

$D_3 = h_3 - h_2$

dimana : (5.5.3)

$$h_1 = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_{sb}}}$$

$$h_3 = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_{td}}}$$

5.6.b. Syarat minimum

Bila biaya yang ada terbatas, bisa dipergunakan persyaratan minimum seperti berikut :

Lintas Ekuivalen Harian	Tebal minimum $D_1 - D_2$	Tebal Minimum D_1		
		Jalan tahan lama beton aspal	Jalan umur sedang penetrasi dobel	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 ekuivalen e untuk berbagai macam berat kendaraan berdasarkan Rumus Tinggi Konstruksi :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

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

Faktor Regional

Rumus umum un-bound

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_o)}{(CBR)_b}}$$

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/P0 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_o dalam ton (P_o = 1/2 P) dalam CBR

n dalam lintas ekivalen rata-rata (L.E.R)

n_o E.n.n Lintas ekivalen yang diperhitungkan

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{CBR}}$$

di mana

$$n_o = u \cdot \sigma \cdot \pi \cdot n$$

$$h_e = a_1 D_1 - a_2 D_2 - a_3 D_3$$

Dikoreksi oleh/berdasarkan percobaan-percobaan Finn dan Shook, bila :

P_o = 8 tpn

t = 1000

a₁ untuk aspal beton = 2

a₂ untuk batu pecah = 1

a₃ untuk sirtu = 0,75

Bila dipergunakan rumus:

$$h_2 = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 - 0,7 \log n_o)}{CBR}}$$

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 ekuivalen rata-rata 1.000 untuk pekerjaan dilapangan (tidak dilaboratorium) supaya aman dianggap hanya bisa tahan 1 tahun segala L.E.R. (Lintas Ekuivalen 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 :

$$h_1 = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_0)}{(CBR)_b}}$$

he dalam cm
 Po dalam ton
 n L.E.P
 D₁, D₂, D₃ dalam cm
 μ 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 Dinamis P (σ)

diberi faktor dinamis

$$h = \sqrt{\frac{6P}{2 \sigma \dots \sigma t}}$$

Rumus Umum III

Analog dengan di depan :

h dalam cm

Po dalam ton

σ t dalam CBR

$$J = 1 - 0,7 \log n_0$$

$$n_0 = \partial \cdot \pi \cdot n$$

n diambil lintas ekivalen harian max

n diambil lintas ekivalen harian yang max atau L.E.A

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_0)}{\text{CBR}}} - \Delta$$

Rumus Umum IV

Bila dipergunakan sebagai dasar rumus umum II (bound system) analog dengan sistem di atas didapat :

$$h = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log n_0)}{\text{CBR}}} - \Delta$$

dimana :

$$n_0 = u \cdot \partial \cdot n$$

$$h = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

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 : $W = 1/2 P_0$

c. Nilai a dihitung secara teoritis

Δ = jari-jari bidang kontak

c_a = tekanan angin dalam ban roda

$W = 1/2 P_0$ tekanan satu roda

Hukum Keseimbangan

$$C_a \times \text{luas bidang kontak} = W$$

$$C_a \Delta^2 = 1/2 P_o$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{P_o}{2 \cdot C_a}}$$

bila :

P_o dalam ton

Δ 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:

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

Untuk P_i dengan n kali lewat \longrightarrow

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

Untuk P_o dengan n kali lewat \longrightarrow

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

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 :

$$\text{L.E.R} = n$$

$$\text{Umur Rencana} = u \text{ tahun}$$

$$1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari}$$

$$- N = 365 u \cdot n - n =$$

$$n_o = u \cdot \partial \cdot n \cdot n$$

$$u \cdot \partial \cdot n \frac{N}{365 \cdot u}$$

$$\boxed{n_o \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365}}$$

Rumus Umum II menjadi :

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

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 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 :

$$a) h_{ek} = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 - 0,7 \log N \cdot \partial \cdot \pi n)}{CBR}} \quad b) h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Ketentuan-ketentuan :

$$P_0 = 8 \text{ ton}$$

$$= 2.000$$

(umur rencana = 20 tahun)

$$\partial \text{ (daerah Jakarta) } = 2,5$$

$$n \text{ (daerah Jakarta) } = 9$$

$$CBR \text{ diambil } = 9$$

$$a_1 \text{ (beton aspal) } = 2$$

$$a_2 \text{ (sirtu pecah) } = 1$$

$$a_3 = a_2 = 1$$

$$D_1 \text{ diambil } = 9 \text{ cm}$$

$$D_2 \text{ diambil } = 15 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$h_{eb} = 20 \sqrt{\frac{8 (1 - 0,7 \log 20 \cdot 2,5 \cdot 9 \cdot 2000)}{6}}$$

$$= 20 \sqrt{\frac{8 (1 - 0,7 \log 900.000)}{6}}$$

$$= 52,51 \text{ cm}$$

$$= 53 \text{ cm.}$$

$$h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$53 = 2 \cdot 9 + 1 \cdot 15 + 1 \cdot D_3$$

$$D_3 = 53 - 18 - 15$$

$$D_3 = 20 \text{ cm (cocok).}$$

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 lalulintas ekivalen 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 :

$$a) h_{ek} = 20 \sqrt{\frac{P_o (1 + 0,7 \log u \cdot \partial \cdot \pi n)}{CBR}} \quad b) h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

Ketentuan-ketentuan :

$$P_o = 8,2 \text{ ton (18.000 lbs)}$$

$$= 1.790$$

$$u \text{ (umur rencana = 20 tahun)}$$

$$\partial \text{ (daerah Bogor) = 2.00}$$

$$n \text{ (daerah Bogor) = 11.0}$$

$$CBR \text{ diambil} = 4 \text{ (umumnya timbunan)}$$

$$a_1 \text{ (beton aspal klas A) = 2}$$

$$a_2 \text{ (sirtu pecah klas B) = 1,5}$$

$$a_3 \text{ (sirtu klas sedang) = 0,70}$$

$$D_1 \text{ diambil} = 10 \text{ cm}$$

$$D_2 \text{ diambil} = 23 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$h_{eb} = 20 \sqrt{\frac{8,2 (1 + 0,7 \log 20 \cdot 200 \cdot 111790)}{4}}$$

$$= 20 \sqrt{\frac{8,2 (1 + 0,7 \log 787600)}{4}}$$

$$= 64.86 \text{ cm}$$

$$= 65 \text{ cm}$$

$$h_{ek} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$65 = 2.10 + 1,5 \cdot 23 + 0,7 \cdot D_3$$

$$0,7 D_3 = 65 - 20 - 34,5$$

$$D_3 = \frac{10,5}{0,7} = 15$$

$$D_3 = 15 \text{ cm. (cocok)}$$

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 ekuivalen untuk sirtu $a = 0,75$
- Truck yang akan dipergunakan oleh proyek berukuran ekuivalen dengan tekanan gandar tunggal 8 ton dan a supaya diambil 120 psi (8,4 kg/cm²) 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 :

$$h_e = 20 \sqrt{\frac{P_0 (1 + 0,7 \log n_o)}{\text{CBR}}} - \Delta$$

dimana $n_o = \frac{\partial \cdot n \cdot N}{365}$ N 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/cm₂
 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 $a_2 = 1$.