

PEDOMAN PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR

1. Ruang Lingkup

Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur ini meliputi ketentuan umum perencanaan uraian deskripsi, ketentuan teknis perencanaan, metode perencanaan, dan contoh-contoh perencanaan.

Perencanaan tebal perkerasan yang diuraikan dalam pedoman ini hanya berlaku untuk konstruksi perkerasan yang menggunakan material bergradasi lepas (granular material dan batu pecah) dan berpengikat.

Petunjuk perencanaan ini digunakan untuk :

- Perencanaan perkerasan jalan baru;
- Perencanaan pelapisan tambah (Overlay);
- Perencanaan konstruksi bertahap (Stage Construction).

Dalam menggunakan pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur ini, penilaian terhadap kekuatan perkerasan jalan yang ada harus terlebih dahulu meneliti dan mempelajari hasil-hasil pengujian di laboratorium dan lapangan. Penilaian ini sepenuhnya tanggung jawab perencana, sesuai dengan kondisi setempat dan pengalamannya.

Cara-cara perencanaan tebal perkerasan, selain yang diuraikan dalam pedoman ini dapat juga digunakan, dengan syarat dapat dipertanggungjawabkan berdasarkan hasil-hasil pengujian para ahli.

2. Acuan

AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993.

3. Definisi, Singkatan, dan Istilah

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut :

3.1 Angka Ekuivalen Beban Gandar Sumbu Kendaraan (E)

Angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh lintasan beban gandar sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb).

3.2 Indeks Permukaan (IP)

Angka yang dipergunakan untuk menyatakan ketidakrataan dan kekokohan permukaan jalan yang berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat.

3.3 Struktural Number (SN)

Indeks yang diturunkan dari analisis lalu-lintas, kondisi tanah dasar, dan lingkungan yang dapat dikonversi menjadi tebal lapisan perkerasan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang sesuai untuk tiap-tiap jenis material masing-masing lapis struktur perkerasan.

3.4 Koefisien Drainase

Faktor yang digunakan untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif sebagai fungsi yang menyatakan seberapa baiknya struktur perkerasan dapat mengatasi pengaruh negatif masuknya air ke dalam struktur perkerasan.

3.5 Lajur Rencana

Salah satu lajur lalu lintas dari sistem jalan raya yang menampung lalu-lintas terbesar. Umumnya lajur rencana adalah salah satu lajur dari jalan raya dua lajur atau tepi luar dari jalan raya yang berlajur banyak.

3.6 Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Campuran yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja, dan filler (bila diperlukan) yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan secara dingin.

3.7 Lapis Beton Aspal (LASTON)

Lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

3.8 Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN)

Lapis perkerasan yang terdiri atas agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemrotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan jika akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan batu penutup.

3.9 Lapis Permukaan

Bagian perkerasan yang paling atas.

3.10 Lapis Pondasi

Bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah).

3.11 Lapis Pondasi Bawah

Bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar.

3.12 Reliability

Kemungkinan (probability) bahwa jenis kerusakan tertentu atau kombinasi jenis kerusakan pada struktur perkerasan akan tetap lebih rendah atau dalam rentang yang diizinkan selama umur rencana.

3.13 Tanah Dasar

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

3.14 Umur Rencana (UR)

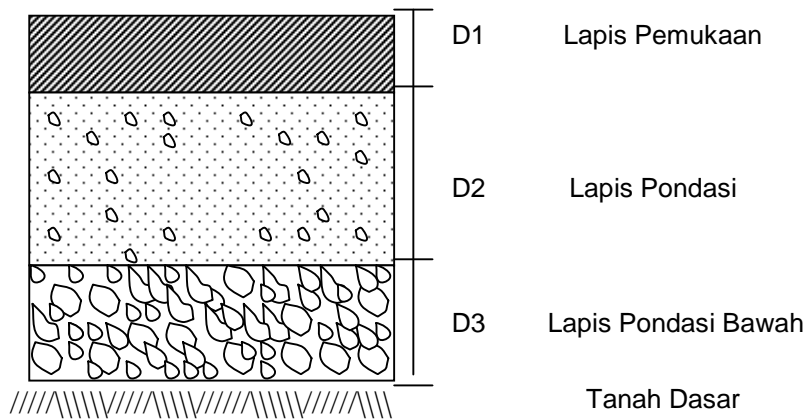
Jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru.

3.15 Falling Weight Deflectometer (FWD)

Alat untuk mengukur kekuatan struktur perkerasan jalan yang bersifat non-destruktif.

4. Struktur Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan lentur, umumnya terdiri atas: lapis pondasi bawah (subbase course), lapis pondasi (base course), dan lapis permukaan (surface course). Sedangkan susunan lapis perkerasan adalah seperti diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Susunan Lapis Perkerasan Jalan

4.1 Tanah Dasar

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

Dalam pedoman ini diperkenalkan modulus resilien (M_R) sebagai parameter tanah dasar yang digunakan dalam perencanaan

Modulus resilien (M_R) tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR standar dan hasil atau nilai tes soil index. Korelasi Modulus Resilien dengan nilai CBR (Heukelom & Klomp) berikut ini dapat digunakan untuk tanah berbutir halus (fine-grained soil) dengan nilai CBR terendam 10 atau lebih kecil.

$$M_R \text{ (psi)} = 1.500 \times \text{CBR}$$

Persoalan tanah dasar yang sering ditemui antara lain :

- Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu sebagai akibat beban lalu-lintas.
- Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan konstruksi.
- Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu-lintas untuk jenis tanah tertentu.
- Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu-lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir (granular soil) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan konstruksi.

4.2 Lapis Pondasi Bawah

Lapis pondasi bawah adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak antara tanah dasar dan lapis pondasi. Biasanya terdiri atas lapisan dari material berbutir (granular material) yang dipadatkan, distabilisasi ataupun tidak, atau lapisan tanah yang distabilisasi.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

- Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebar beban roda.
- Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi).
- Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan konstruksi berjalan lancar.

Lapis pondasi bawah diperlukan sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat (terutama pada saat pelaksanaan konstruksi) atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Bermacam-macam jenis tanah setempat ($\text{CBR} \geq 20\%$, $\text{PI} \leq 10\%$) 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 diperoleh bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan.

4.3 Lapis Pondasi

Lapis pondasi adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak langsung di bawah lapis permukaan. Lapis pondasi dibangun di atas lapis pondasi bawah atau, jika tidak menggunakan lapis pondasi bawah, langsung di atas tanah dasar.

Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan beban roda.
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi 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/setempat ($\text{CBR} > 50\%$, $\text{PI} < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah yang distabilisasi dengan semen, aspal, pozzolan, atau kapur.

4.4 Lapis Permukaan

Lapis permukaan struktur pekerasan lentur terdiri atas campuran mineral agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan sebagai lapisan paling atas dan biasanya terletak di atas lapis pondasi.

Fungsi lapis permukaan antara lain :

- a. Sebagai bagian perkerasan untuk menahan beban roda.
- b. Sebagai lapisan tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (wearing course)

Bahan untuk lapis permukaan umumnya 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.

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

5. Kriteria Perencanaan

5.1 Lalu-lintas

5.1.1 Angka Ekuivalen Beban Gandar Sumbu Kendaraan (E)

Angka eivalen (E) masing-masing golongan beban gandar sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut tabel pada Lampiran D. Tabel ini hanya berlaku untuk roda ganda. Untuk roda tunggal karakteristik beban yang berlaku agak berbeda dengan roda ganda. Untuk roda tunggal rumus berikut ini harus dipergunakan.

$$\text{Angka ekuivalen roda tunggal} = \left(\frac{\text{beban gandar satu sumbu tunggal dalam kN}}{53 \text{ kN}} \right)^4$$

5.1.2 Reliabilitas

Konsep reliabilitas merupakan upaya untuk menyertakan derajat kepastian (degree of certainty) ke dalam proses perencanaan untuk menjamin bermacam-macam alternatif perencanaan akan bertahan selama selang waktu yang direncanakan (umur rencana). Faktor perencanaan reliabilitas memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu-lintas (w_{18}) dan perkiraan kinerja (W_{18}), dan karenanya memberikan tingkat reliabilitas (R) dimana seksi perkerasan akan bertahan selama selang waktu yang direncanakan.

Pada umumnya, dengan meningkatnya volume lalu-lintas dan kesukaran untuk mengalihkan lalu-lintas, resiko tidak memperlihatkan kinerja yang diharapkan harus ditekan. Hal ini dapat diatasi dengan memilih tingkat reliabilitas yang lebih tinggi. Tabel 3 memperlihatkan rekomendasi tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan. Perlu dicatat bahwa tingkat reliabilitas yang lebih tinggi menunjukkan jalan yang melayani lalu-lintas paling banyak, sedangkan tingkat yang paling rendah, 50 % menunjukkan jalan lokal.

Tabel 1 Rekomendasi tingkat reliabilitas untuk bermacam-macam klasifikasi jalan

| Klasifikasi jalan | Rekomendasi tingkat reliabilitas | |
|-------------------|----------------------------------|------------|
| | Perkotaan | Antar kota |
| Bebas hambatan | 85 – 99.9 | 80 – 99,9 |
| Arteri | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Kolektor | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Lokal | 50 – 80 | 50 – 80 |

Reliabilitas kinerja-perencanaan dikontrol dengan faktor reliabilitas (F_R) yang dikalikan dengan perkiraan lalu-lintas (w_{18}) selama umur rencana untuk memperoleh prediksi kinerja (W_{18}). Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, reliability factor merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (overall standard deviation, S_0) yang memperhitungkan kemungkinan variasi perkiraan lalu-lintas dan perkiraan kinerja untuk W_{18} yang diberikan. Dalam persamaan desain perkerasan lentur, level of reliability (R) diakomodasi dengan parameter penyimpangan normal standar (standard normal deviate, Z_R). Tabel 4 memperlihatkan nilai Z_R untuk level of serviceability tertentu.

Penerapan konsep reliability harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini :

- (1) Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan apakah merupakan jalan perkotaan atau jalan antar kota
- (2) Pilih tingkat reliabilitas dari rentang yang diberikan pada Tabel 4.
- (3) Deviasi standar (S_0) harus dipilih yang mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,40 – 0,50.

Tabel 2 Nilai penyimpangan normal standar (standard normal deviate) untuk tingkat reliabilitas tertentu.

| Reliabilitas, R (%) | Standar normal deviate, Z_R |
|-----------------------|-------------------------------|
| 50 | 0,000 |
| 60 | - 0,253 |
| 70 | - 0,524 |
| 75 | - 0,674 |
| 80 | - 0,841 |
| 85 | - 1,037 |
| 90 | - 1,282 |
| 91 | - 1,340 |
| 92 | - 1,405 |
| 93 | - 1,476 |
| 94 | - 1,555 |
| 95 | - 1,645 |
| 96 | - 1,751 |
| 97 | - 1,881 |
| 98 | - 2,054 |
| 99 | - 2,327 |
| 99,9 | - 3,090 |
| 99,99 | - 3,750 |

5.1.3 Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lalu lintas pada lajur rencana (w_{18}) diberikan dalam kumulatif beban gandar standar. Untuk mendapatkan lalu lintas pada lajur rencana ini digunakan perumusan berikut ini :

$$w_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18}$$

Dimana :

D_D = faktor distribusi arah.

D_L = faktor distribusi lajur.

\hat{w}_{18} = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah.

Pada umumnya D_D diambil 0,5. Pada beberapa kasus khusus terdapat pengecualian dimana kendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa D_D bervariasi dari 0,3 – 0,7 tergantung arah mana yang ‘berat’ dan ‘kosong’.

Tabel 3. Faktor Distribusi Lajur (D_D)

| Jumlah lajur per arah | % beban gandar standar dalam lajur rencana |
|-----------------------|--|
| 1 | 100 |
| 2 | 80 – 100 |
| 3 | 60 – 80 |
| 4 | 50 – 75 |

Lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan lentur dalam pedoman ini adalah lalu-lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada lajur rencana selama setahun (w_{18}) dengan besaran kenaikan lalu lintas (traffic growth). Secara numerik rumusan lalu-lintas kumulatif ini adalah sebagai berikut :

$$W_t = w_{18} \times \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

Dimana :

W_t = jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif.

w_{18} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun.

n = umur pelayanan (tahun).

g = perkembangan lalu lintas (%).

5.2 Koefisien Drainase

Dalam buku ini diperkenalkan konsep koefisien drainase untuk mengakomodasi kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan. Tabel 4 memperlihatkan definisi umum mengenai kualitas drainase.

Tabel 4 Definisi kualitas drainase

| Kualitas drainase | Air hilang dalam |
|-------------------|-------------------------|
| Baik sekali | 2 jam |
| Baik | 1 hari |
| Sedang | 1 minggu |
| Jelek | 1 bulan |
| Jelek sekali | air tidak akan mengalir |

Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perencanaan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) dan disertakan ke dalam persamaan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) bersama-sama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D).

Tabel 5 memperlihatkan nilai koefisien drainase (m) yang merupakan fungsi dari kualitas drainase dan persen waktu selama setahun struktur perkerasan akan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh.

Tabel 5 Koefisien drainase (m) untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif material untreated base dan subbase pada perkerasan lentur.

| Kualitas drainase | Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh | | | |
|-------------------|--|-------------|-------------|--------|
| | < 1 % | 1 – 5 % | 5 – 25 % | > 25 % |
| Baik sekali | 1,40 – 1,30 | 1,35 – 1,30 | 1,30 – 1,20 | 1,20 |
| Baik | 1,35 – 1,25 | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,00 | 1,00 |
| Sedang | 1,25 – 1,15 | 1,15 – 1,05 | 1,00 – 0,80 | 0,80 |
| Jelek | 1,15 – 1,05 | 1,05 – 0,80 | 0,80 – 0,60 | 0,60 |
| Jelek sekali | 1,05 – 0,95 | 0,08 – 0,75 | 0,60 – 0,40 | 0,40 |

5.3 Indeks Permukaan (IP)

Indeks permukaan ini menyatakan nilai ketidakrataan dan kekuatan perkerasan yang berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat.

Adapun beberapa ini IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini :

IP = 2,5 : menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

IP = 2,0 : menyatakan tingkat pelayanan terendah bagi jalan yang masih mantap.

IP = 1,5 : menyatakan tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).

IP = 1,0 : Menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu-lintas kendaraan.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP_t)

| Klasifikasi Jalan | | | |
|-------------------|-----------|-----------|----------------|
| Lokal | Kolektor | Arteri | Bebas hambatan |
| 1,0 – 1,5 | 1,5 | 1,5 – 2,0 | - |
| 1,5 | 1,5 – 2,0 | 2,0 | - |
| 1,5 – 2,0 | 2,0 | 2,0 – 2,5 | - |
| - | 2,0 – 2,5 | 2,5 | 2,5 |

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IP₀) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan pada awal umur rencana sesuai dengan Tabel 7.

Tabel 7 Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IP₀)

| Jenis Lapis Perkerasan | IP ₀ | Ketidakrataan *) (IRI, m/km) |
|------------------------|-----------------|------------------------------|
| L A S T O N | ≥ 4 | ≤ 1,0 |
| | 3,9 – 3,5 | > 1,0 |
| L A S B U T A G | 3,9 – 3,5 | ≤ 2,0 |
| | 3,4 – 3,0 | > 2,0 |
| L A P E N | 3,4 – 3,0 | ≤ 3,0 |
| | 2,9 – 2,5 | > 3,0 |

*) Alat pengukur ketidakrataan yang dipergunakan dapat berupa roughometer NAASRA, Bump Integrator, dll.

5.4 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Pedoman ini memperkenalkan korelasi antara koefisien kekuatan relatif dengan nilai mekanistik, yaitu modulus resilien.

Berdasarkan jenis dan fungsi material lapis perkerasan, estimasi Koefisien Kekuatan Relatif dikelompokkan ke dalam 5 katagori, yaitu : beton aspal (asphalt concrete), lapis pondasi granular (granular base), lapis pondasi bawah granular (granular subbase), cement-treated base (CTB), dan asphalt-treated base (ATB).

5.4.1 Lapis Permukaan Beton Aspal (asphalt concrete surface course)

Gambar 2 memperlihatkan grafik yang dipergunakan untuk memperkirakan Koefisien Kekuatan Relatif lapis permukaan berbeton aspal bergradasi rapat berdasarkan modulus elastisitas (E_{AC}) pada suhu 68°F (metode AASHTO 4123). Disarankan, agar berhati-hati untuk nilai modulus di atas 450.000 psi. Meskipun modulus beton aspal yang lebih tinggi, lebih kaku, dan lebih tahan terhadap lenturan, akan tetapi lebih rentan terhadap retak fatigue.

5.4.2 Lapis Pondasi Granular (granular base layer)

Koefisien Kekuatan Relatif, a_2 dapat diperkirakan dengan menggunakan Gambar 3 atau dihitung dengan menggunakan hubungan berikut :

$$A_2 = 0,249 (\log_{10} E_{BS}) - 0,977$$

5.4.3 Lapis Pondasi Bawah Granular (granular subbase layers)

Koefisien Kekuatan Relatif, a_2 dapat diperkirakan dengan menggunakan Gambar 4 atau dihitung dengan menggunakan hubungan berikut :

$$A_3 = 0,227 (\log_{10} E_{SB}) - 0,839$$

5.4.4 Lapis Pondasi Bersemen

Gambar 5 memperlihatkan grafik yang dapat dipergunakan untuk memperkirakan Koefisien Kekuatan Relatif, a_2 untuk lapis pondasi bersemen.

5.4.5 Lapis Pondasi Beraspal

Gambar 6 memperlihatkan grafik yang dapat dipergunakan untuk memperkirakan Koefisien Kekuatan Relatif, a_2 untuk lapis pondasi beraspal.

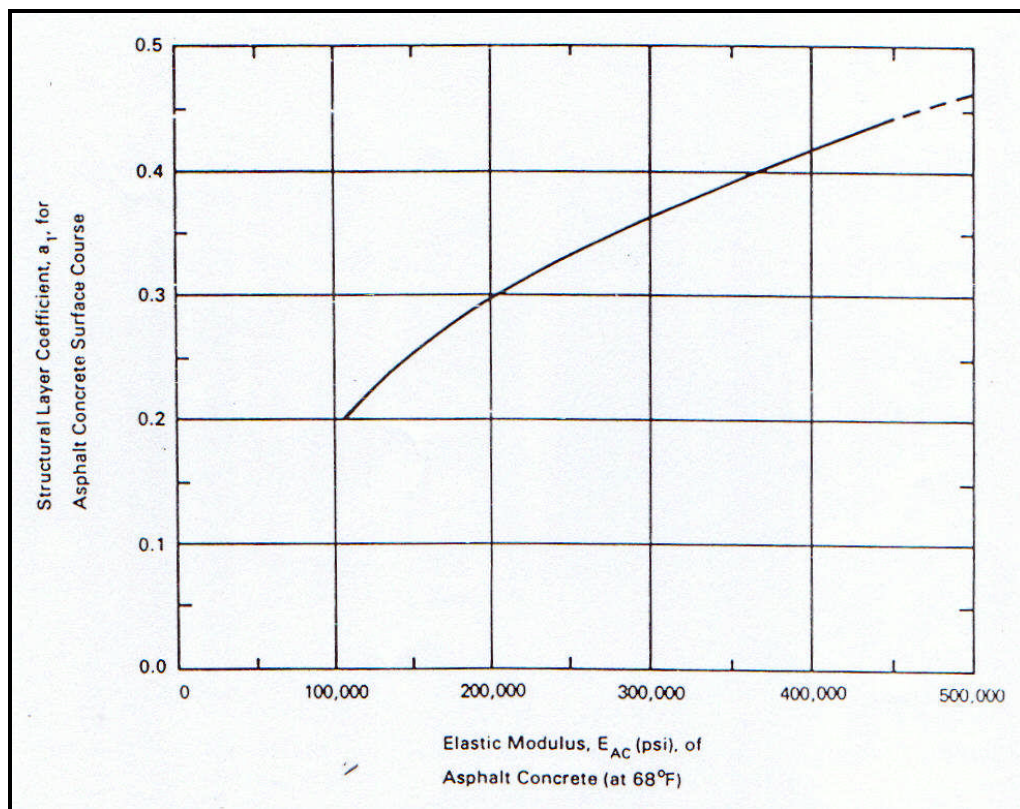
5.1 Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

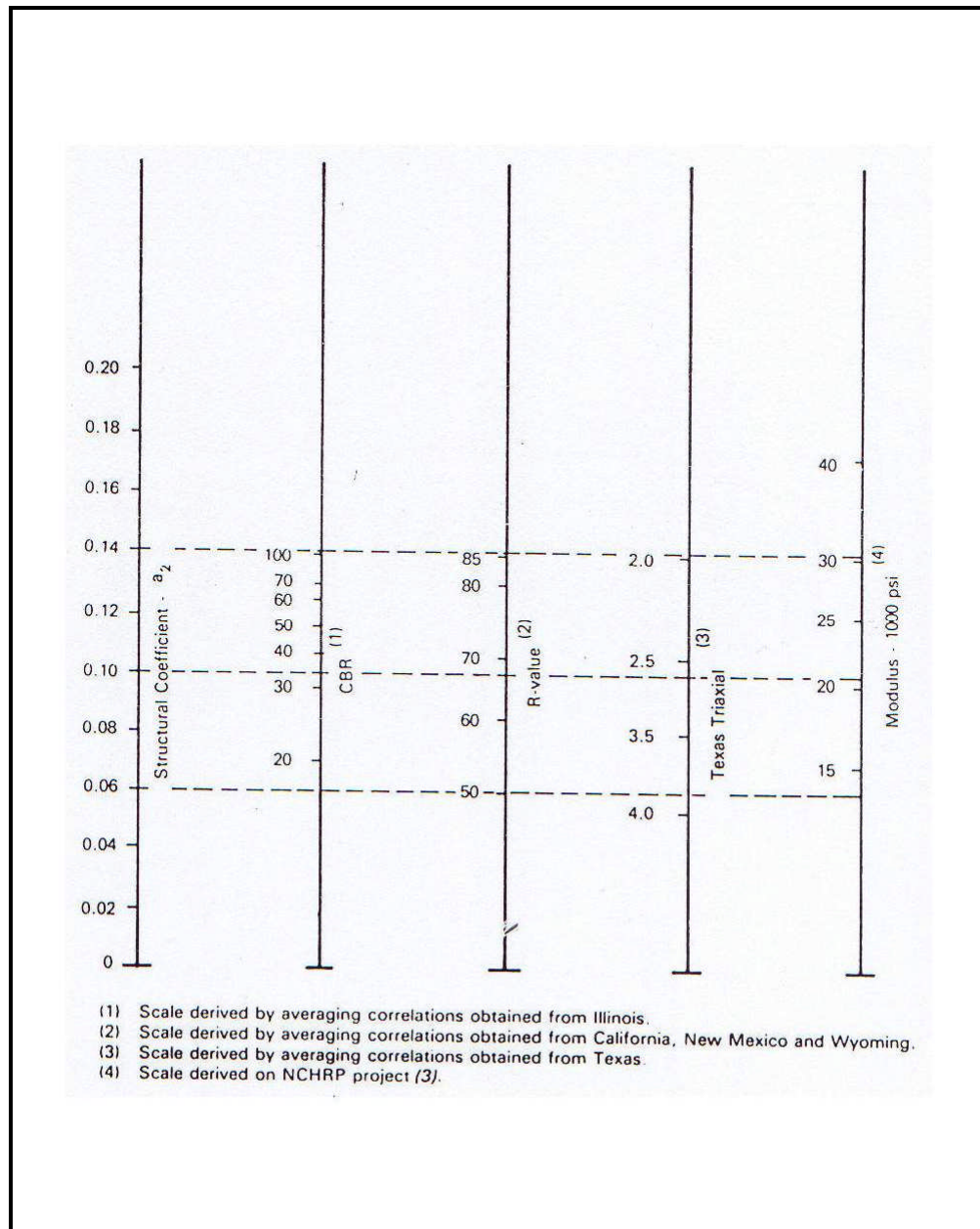
Pada saat menentukan tebal lapis perkerasan, perlu dipertimbangkan keefektifannya dari segi biaya, pelaksanaan konstruksi, dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perencanaan yang tidak praktis. Dari segi keefektifan biaya, jika perbandingan antara biaya untuk lapisan pertama dan lapisan kedua lebih kecil dari pada perbandingan tersebut dikalikan dengan koefisien drainase, maka perencanaan yang secara ekonomis optimum adalah apabila digunakan tebal lapis pondasi minimum. Tabel 8 memperlihatkan nilai tebal minimum untuk lapis permukaan berbeton aspal dan lapis pondasi agregat.

Tabel 8 Tebal minimum lapis permukaan berbeton aspal dan lapis pondasi agregat (inci)

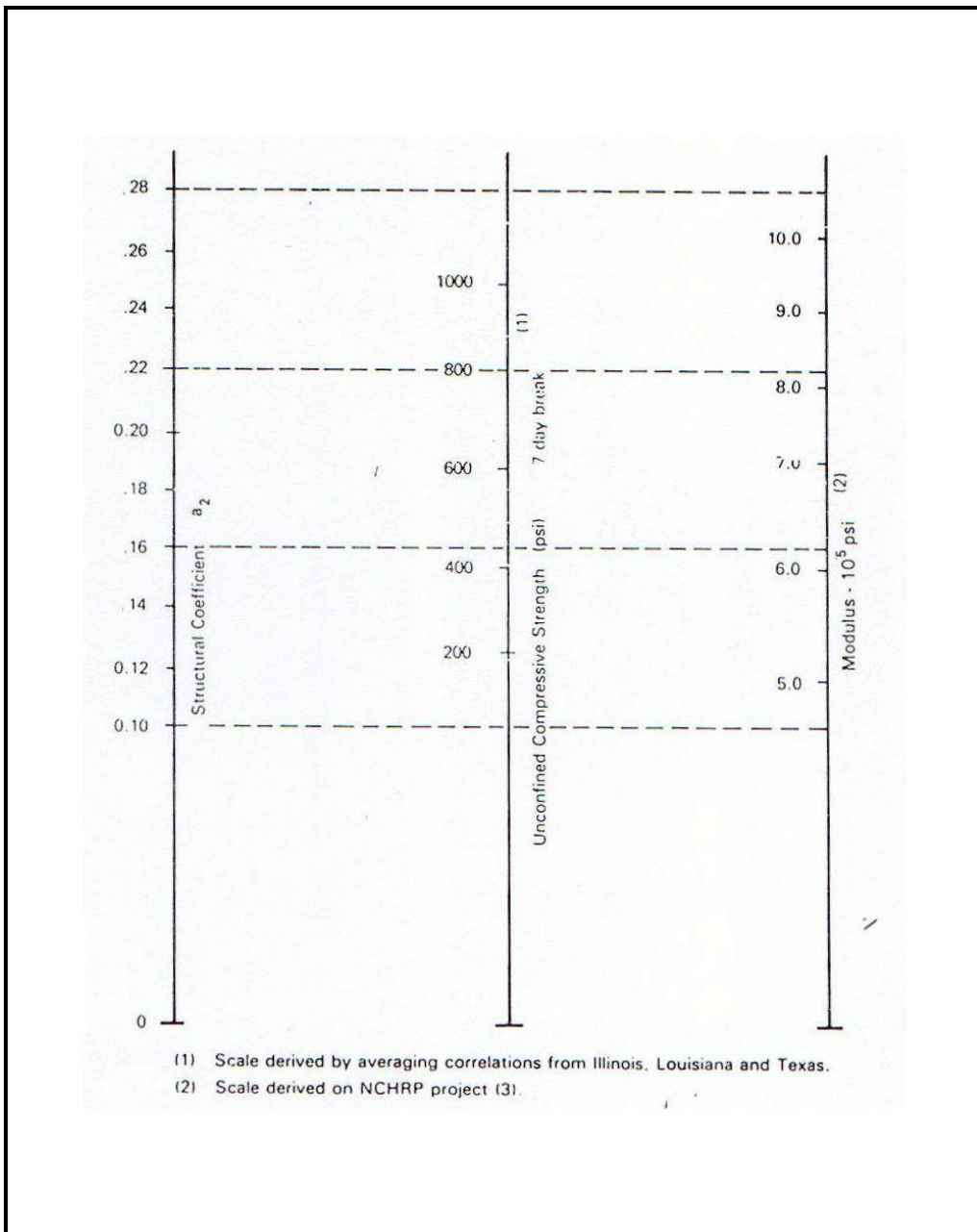
| Lalu-lintas (ESAL) | Beton aspal | | LAPEN | | LASBUTAG | | Lapis pondasi agregat | |
|-----------------------|-------------|------|-------|----|----------|----|-----------------------|----|
| | inci | cm | inci | cm | inci | cm | inci | cm |
| < 50.000 *) | 1,0 *) | 2,5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 10 |
| 50.001 – 150.000 | 2,0 | 5,0 | - | - | - | - | 4 | 10 |
| 150.001 – 500.000 | 2,5 | 6,25 | - | - | - | - | 4 | 10 |
| 500.001 – 2.000.000 | 3,0 | 7,5 | - | - | - | - | 6 | 15 |
| 2.000.001 – 7.000.000 | 3,5 | 8,75 | - | - | - | - | 6 | 15 |
| > 7.000.000 | 4,0 | 10,0 | - | - | - | - | 6 | 15 |

*) atau perawatan permukaan

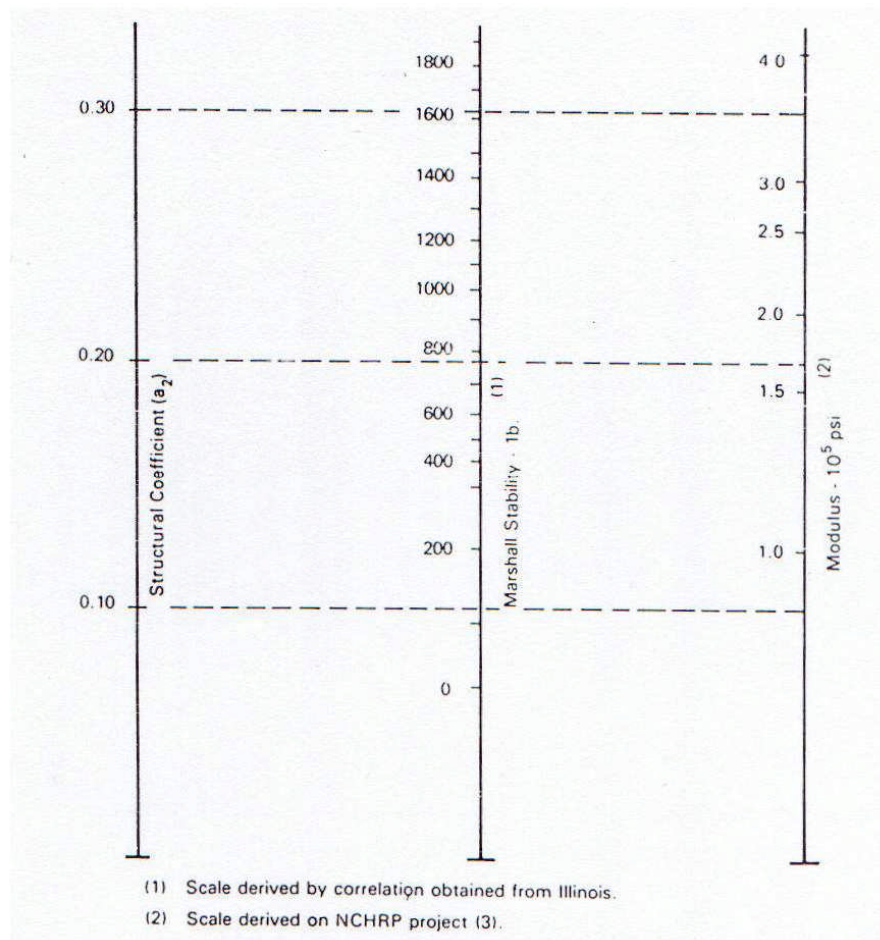
**Gambar 2.** Grafik untuk memperkirakan koefisien kekuatan relatif lapis permukaan berbeton aspal bergradasi rapat (a_1).



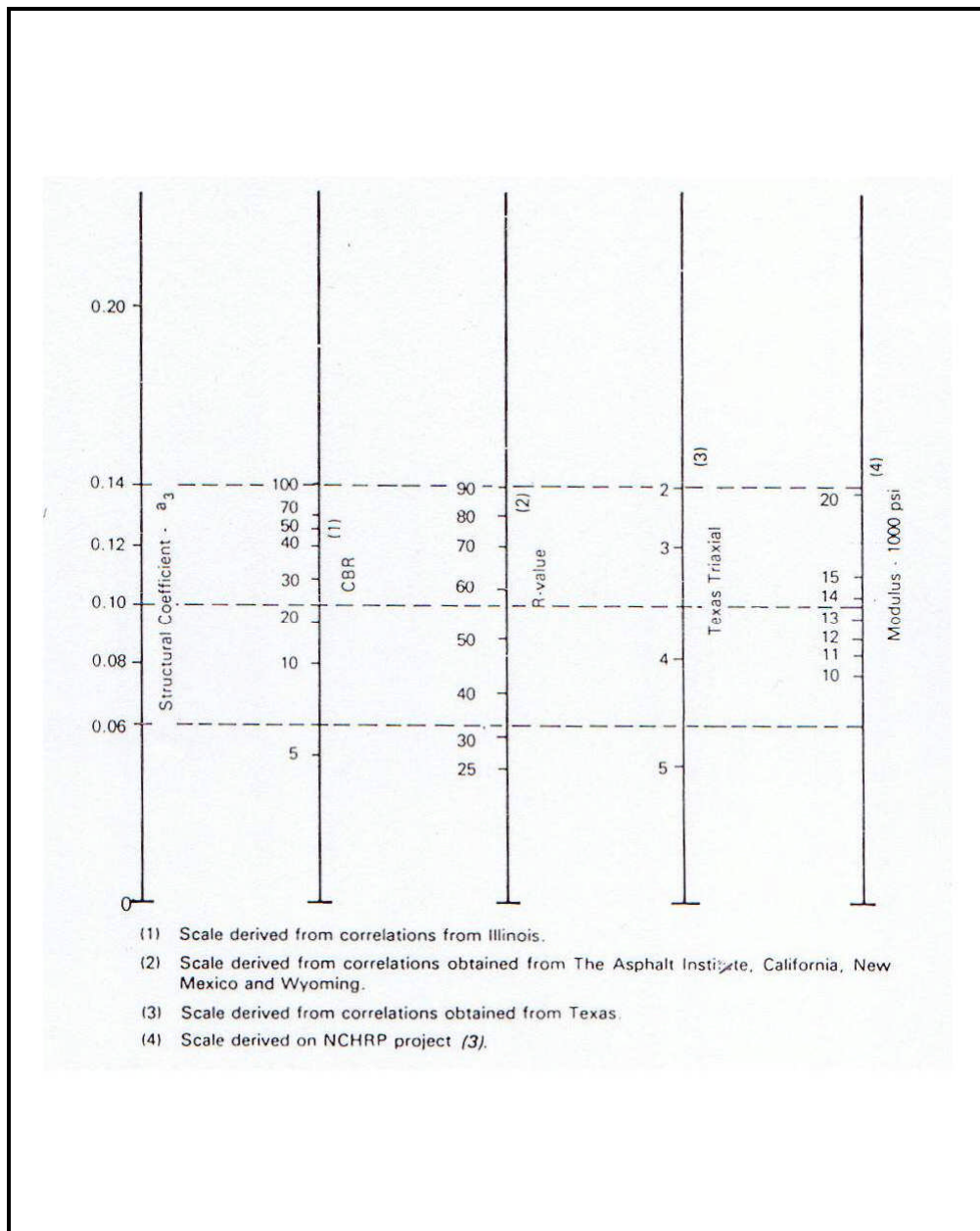
Gambar 3. Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi granular (a_2).



Gambar 4. Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bersemen (a_2).



Gambar 5 Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi beraspal (a_2)



Gambar 6 Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi granular (a_3)

5.6 Pelapisan tambah

Untuk perhitungan pelapisan tambah (overlay), kekuatan struktur perkerasan jalan lama (existing pavement) diukur menggunakan alat FWD atau dinilai dengan menggunakan Tabel 9.

Tabel 9 Koefisien kekuatan relatif (a) *)

| BAHAN | KONDISI PERMUKAAN | Koefisien kekuatan relatif (a) |
|---|---|--------------------------------|
| Lapis permukaan Beton aspal | Terdapat sedikit atau sama sekali tidak terdapat retak kulit buaya dan/atau hanya terdapat retak melintang dengan tingkat keparahan rendah | 0.35 – 0.40 |
| | <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan/atau <5% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.25 – 0.35 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau 5-10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.20 – 0.30 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.14 – 0.20 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan tinggi | 0.08 – 0.15 |
| | | |
| Lapis pondasi yang distabilisasi | Terdapat sedikit atau sama sekali tidak terdapat retak kulit buaya dan/atau hanya terdapat retak melintang dengan tingkat keparahan rendah | 0.20 – 0.35 |
| | <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan/atau <5% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.15 – 0.25 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan rendah dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau >5-10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.15 – 0.20 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan sedang dan/atau <10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi | 0.10 – 0.20 |
| | >10% retak kulit buaya dengan tingkat keparahan tinggi dan/atau >10% retak melintang dengan tingkat keparahan tinggi | 0.08 – 0.15 |
| | | |
| Lapis pondasi atau lapis pondasi bawah granular | Tidak ditemukan adanya pumping, degradation, or contamination by fines. | 0.10 – 0.14 |
| | Terdapat pumping, degradation, or contamination by fines | 0.00 – 0.10 |

Ket : *) Penilaian dilakukan untuk tiap segmen 100 m. Kerusakan yang terjadi diperbaiki atau dikoreksi, maka nilai kondisi perkerasan jalan tersebut harus disesuaikan. Nilai ini dipergunakan untuk mengoreksi koefisien kekuatan relatif perkerasan jalan lama

5.7 Konstruksi Bertahap

Konstruksi bertahap dilakukan 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 diperbaiki dan direncanakan kembali sesuai data lalu-lintas yang ada.

6. Prosedur Perencanaan

6.1 Analisa Komponen Perkerasan

Gambar 7 memperlihatkan nomogram untuk menentukan Struktural number rencana yang diperlukan. Nomogram tersebut dapat dipergunakan apabila dipenuhi kondisi-kondisi berikut ini:

1. Perkiraan lalu-lintas masa datang (W_{18}) adalah pada akhir umur rencana,
2. Reliability (R).
3. Overall standard deviation (S_0),
4. Modulus resilien efektif (effective resilient modulus) material tanah dasar (M_R),
5. Design serviceability loss ($\Delta PSI = IP_0 - IP_t$).

Perhitungan perencanaan tebal perkerasan dalam pedoman ini didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan, dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

- a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan
 D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

Jika kualitas drainase dipertimbangkan, maka persamaan di atas dimodifikasi menjadi :

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dimana :

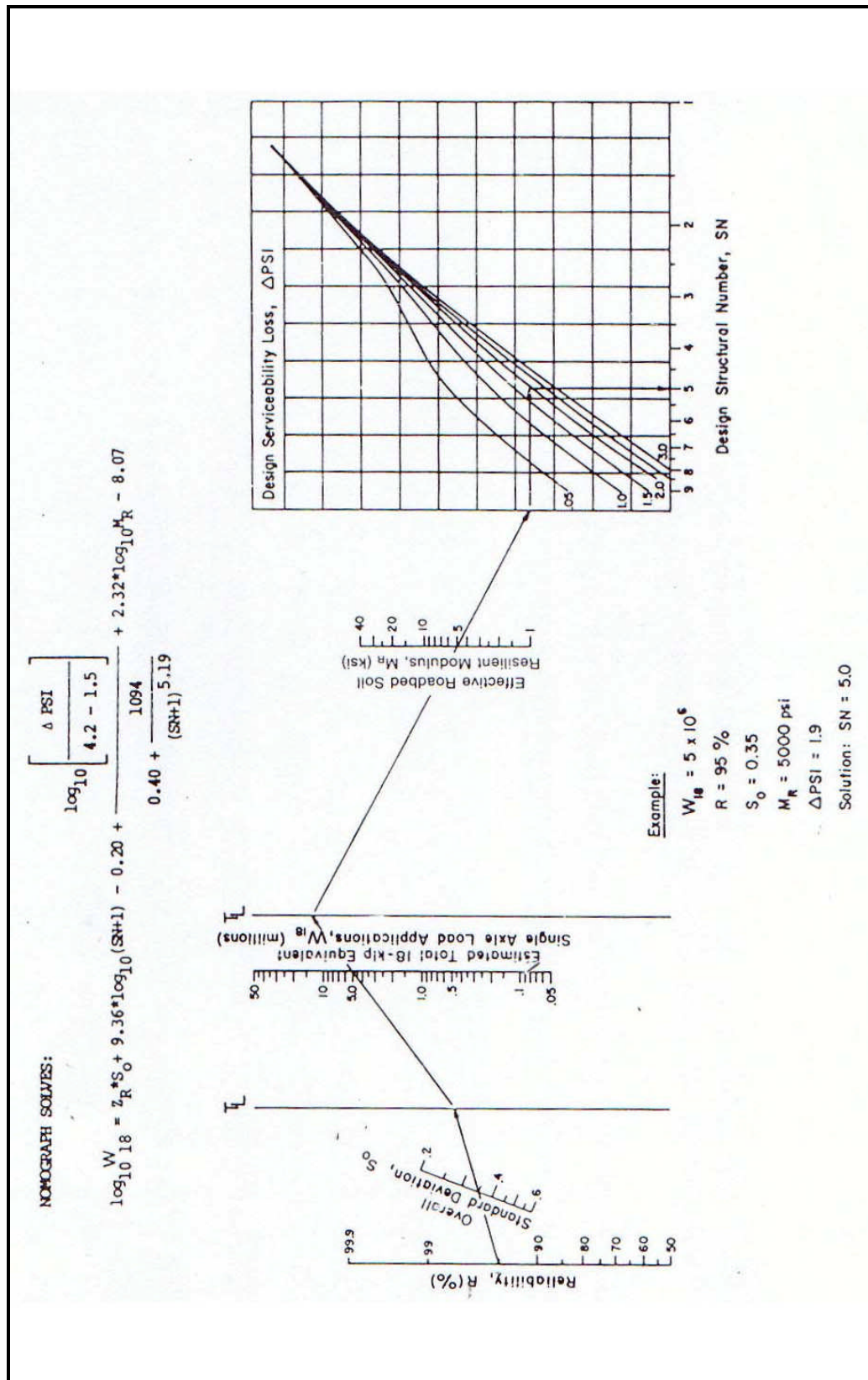
- a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan (berdasarkan besaran mekanistik)
 D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan
 m_2, m_3 = Koefisien drainase

Angka 1, 2, dan 3, masing-masing untuk lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah. Selain menggunakan Gambar 7, ITP juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10} (ITP + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(ITP + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

Dimana :

- W_{18} = Perkiraan jumlah beban sumbu standar ekivalen 18-kip
 Z_R = Deviasi normal standar
 S_0 = Gabungan standard error untuk perkiraan lalu-lintas dan kinerja
 ΔIP = Perbedaan antara initial design serviceability index, IP_0 dan design terminal serviceability index, IP_t
 M_R = Modulus resilien
 IP_f = Indeks permukaan jalan hancur (minimum 1,5)



Gambar 7. Nomogram untuk perencanaan tebal perkerasan lentur.

6.2 Pelapisan Tambah

Perencanaan tebal lapis tambah yang diperkenalkan dalam buku ini adalah berdasarkan data lendutan yang diukur dengan alat FWD.

Pengukuran lendutan disarankan pada jejak roda luar dengan interval 100-1000 kaki (35-350 m). Lokasi-lokasi rusak atau terlebih dahulu akan diperbaiki seharusnya dihindari untuk diukur lendutannya. Pengukuran lendutan, disarankan menggunakan beban sekitar 9.000 lbs. (4.5 ton).

Perhitungan tebal lapis tambah menurut metoda ini meliputi beberapa tahap perencanaan berikut ini :

1) Modulus resilien tanah dasar

Untuk jarak yang cukup jauh dari pusat beban, lendutan yang diukur mencerminkan nilai modulus resilien tanah dasar. Pernyataan ini merupakan dasar dari perhitungan balik (back calculation) untuk modulus resilien berikut ini :

$$M_R = \frac{0.24 P}{d_r r}$$

Dimana : M_R = modulus resilien tanah dasar hasil dari perhitungan balik, psi
 P = beban yang digunakan, lbs.
 d_r = lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan, inci
 r = jarak dari pusat pembebanan, inci

Pada perhitungan modulus resilien tanah dasar ini tidak dibutuhkan koreksi temperatur karena lendutan yang digunakan hanya akibat deformasi tanah dasar.

Lendutan yang digunakan untuk perhitungan balik ini harus diukur cukup jauh dari pusat pembebanan sehingga memberikan estimasi yang cukup akurat untuk perhitungan modulus resilien tanah dasar. Jarak minimum pengukuran lendutan untuk estimasi modulus resilien tanah dasar adalah :

$r \geq 0.7 a_e$
 dimana :

$$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2 \right]}$$

Dimana : a_e = jari-jari gelembung tegangan pada permukaan batas antara tanah dasar dan struktur perkerasan, inci
 P = tegangan pada pelat pembebanan, psi
 a = jari-jari pelat pembebanan, inci
 D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci
 M_R = modulus resilien tanah dasar, psi
 E_p = modulus efektif seluruh lapisan struktur perkerasan di atas tanah dasar, psi.

Sebelum modulus resilien tanah dasar ini digunakan dalam perencanaan, nilai ini harus dikoreksi dulu menurut langkah 4 di bawah.

2) Temperatur perkerasan

Temperatur perkerasan saat pengukuran lendutan harus diukur. Temperatur ini dapat diukur langsung atau diprediksi dari temperatur udara.

3) Modulus efektif perkerasan (E_p)

Apabila modulus resilien tanah dasar dan tebal total lapisan di atas tanah dasar diketahui atau diasumsikan, maka modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar harus memenuhi persamaan berikut ini :

$$d_0 = 1.5 p a \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\}$$

Dimana : d_0 = lendutan yang diukur pada pusat pembebanan dan untuk temperatur standar 68°F, inci
 a = jari-jari pelat pembebanan, inci
 D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci
 E_p = modulus efektif seluruh lapisan perkerasan di atas tanah dasar, psi.

Untuk pelat pembebanan yang berjari-jari 5.9 inci, Gambar 8 dapat dipergunakan untuk menghitung rasio E_p/M_R , kemudian dapat E_p dihitung apabila M_R telah diketahui.

Apabila dihitung menggunakan perhitungan balik maka d_0 harus dikoreksi terhadap temperatur standar 68°F dengan menggunakan Gambar 9 untuk lapisan pondasi granular dan stabilisasi aspal gambar 10 untuk lapisan pondasi stabilisasi semen dan pozzolan.

4) Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan

Modulus resilien tanah dasar untuk perencanaan diperoleh dengan mengoreksi modulus resilien tanah dasar hasil perhitungan balik dengan faktor $C = 0.33$ (untuk beban FWD, kira-kira 9.000 lbs.). Sehingga M_R desain didapat dengan menggunakan rumus berikut :

$$M_{R\text{desain}} = C M_R$$

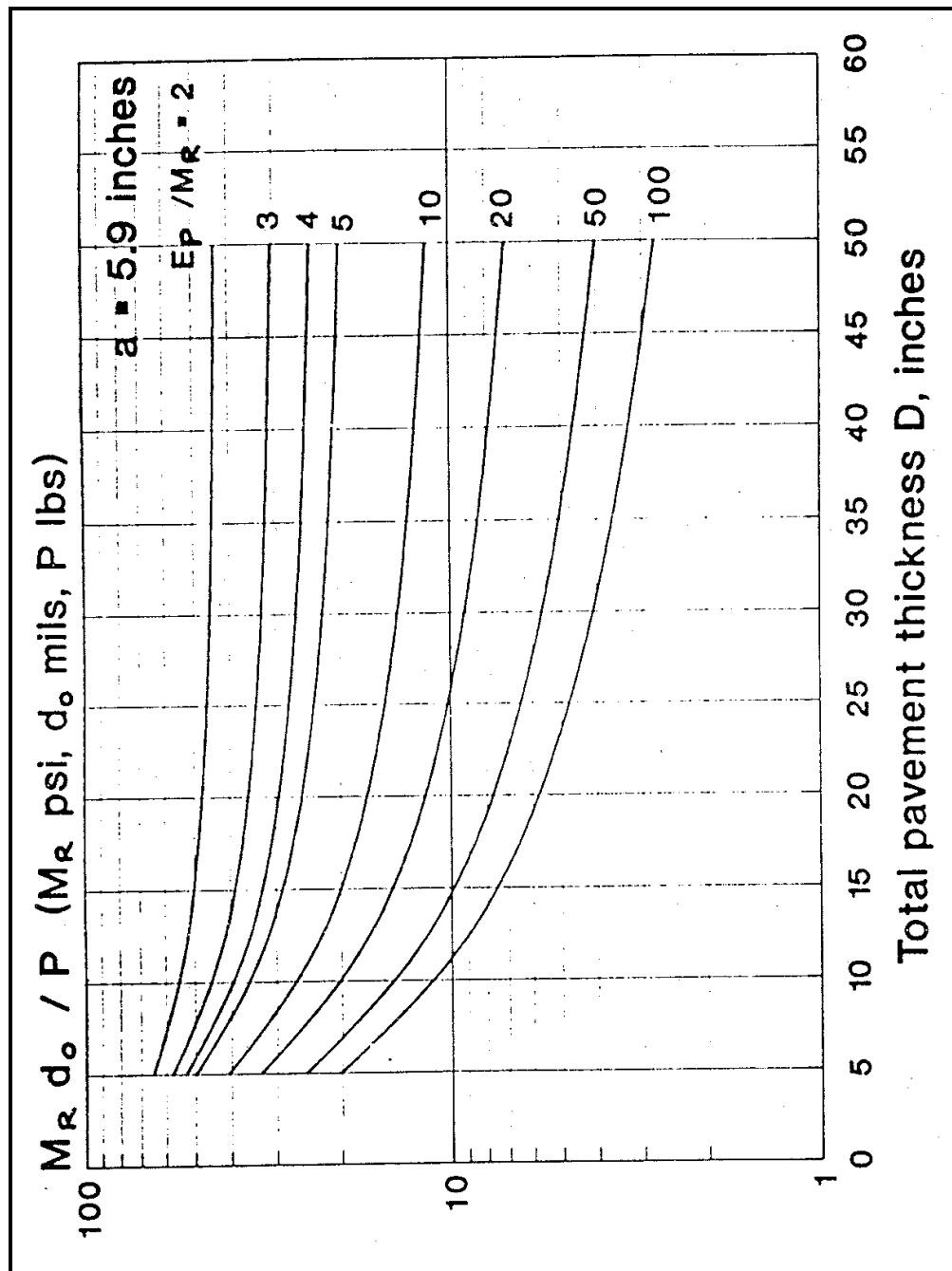
$$M_{R\text{desain}} = C \left(\frac{0.24 P}{d_r r} \right)$$

dimana $C = 0.33$ dan P = beban FWD dalam lbs.

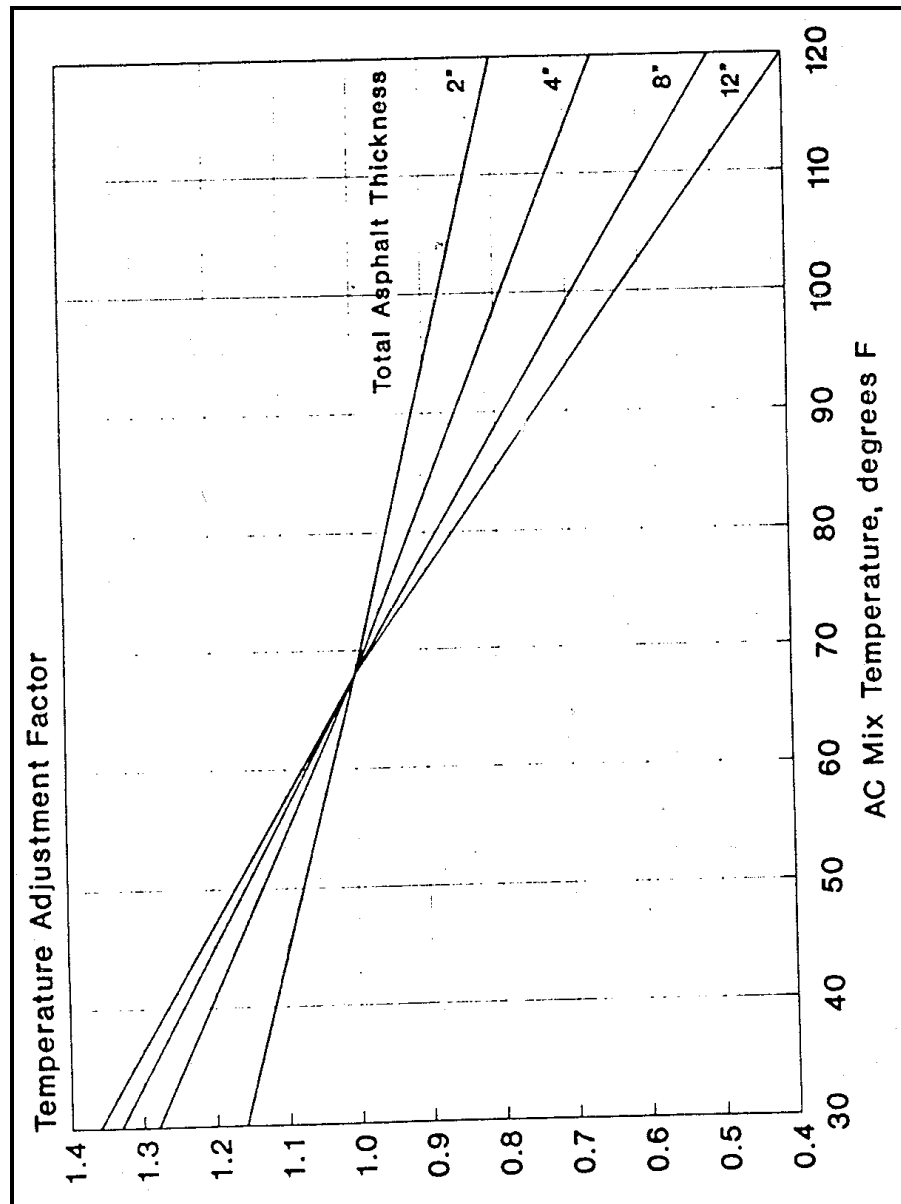
5) Indeks tebal perkerasan masa datang (ITPf)

Nilai indeks tebal perkerasan masa datang ini merupakan ITP yang dibutuhkan untuk mengakomodasi lalu-lintas yang direncanakan.

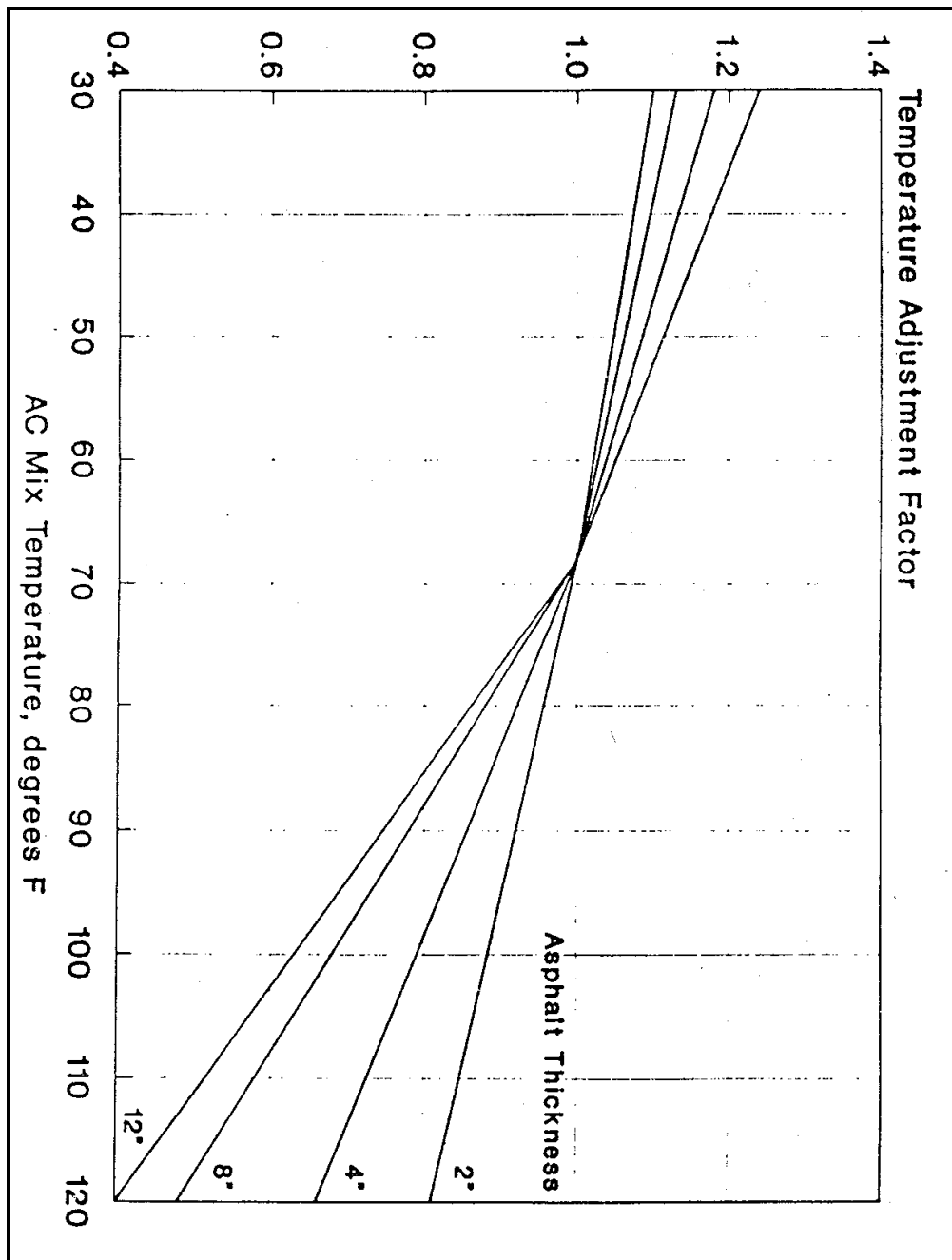
Nilai ini didapat dengan menggunakan grafik pada nomogram pada Gambar 7 atau menggunakan rumus, tetapi menggunakan modulus resilien perencanaan ($M_{R \text{ desain}}$).



Gambar 8 Penentuan E_p/M_r



Gambar 9. Koreksi nilai d_0 untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi granular dan yang distabilisasi dengan aspal.



Gambar 10. Koreksi nilai a_D untuk perkerasan lentur dengan lapis pondasi yang distabilisasi dengan aspal atau pozzolan.

6) Indeks tebal perkerasan efektif (ITP_{eff})

Nilai ini merupakan besaran ITP dimiliki perkerasan lama. Nilai ini didapat dengan menggunakan hubungan berikut :

$$ITP_{eff} = 0.0045 D \sqrt[3]{E_p}$$

Dimana : D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, inci
 E_p = modulus efektif seluruh lapisan struktur perkerasan di atas tanah dasar, psi.

7) Perhitungan tebal lapis tambah

Tebal lapis tambah dihitung menggunakan hubungan berikut ini :

$$H_{OL} = \frac{ITP_{OL}}{a_{OL}} = \frac{ITP_f - ITP_{eff}}{a_{OL}}$$

Dimana : ITP_{OL} = ITP yang dibutuhkan untuk overlay
 a_{OL} = koefisien kekuatan relatif
 H_{OL} = tebal lapis tambah
 ITP_f = ITP yang dihitung pada langkah 5
 ITP_{eff} = ITP yang dihitung pada langkah 6

6.3 Metoda Konstruksi Bertahap

Untuk konstruksi bertahap digunakan konsep berikut :

$$R_{stage} = (R_{overall})^{1/n}$$

Dimana : $R_{overall}$ = reliability keseluruhan tahapan
 R_{stage} = reliability masing-masing tahapan
 N = jumlah tahap

6.4 Contoh Penggunaan Perencanaan

6.4.1 Perencanaan Perkerasan Baru dan Konstruksi Bertahap

Lihat contoh perhitungan pada lampiran.

6.4.2 Perencanaan Lapis Tambah

Lihat contoh perhitungan pada lampiran.

6.4.3 Perhitungan Beban Gandar Standar

Lihat contoh perhitungan pada lampiran.

Lampiran A.

Contoh Perencanaan Perkerasan Baru dan Konstruksi Bertahap

Jalan baru direncanakan untuk umur rencana 20 tahun yang dibagi menjadi 2 tahap konstruksi, yaitu tahap pertama sampai umur 13 tahun dan dilanjutkan pembangunan tahap kedua. Jalan tersebut terdiri atas 3 lajur untuk masing-masing arahnya dan diasumsikan memiliki faktor distribusi arah (D_D) sebesar 50%. Pada tahun pertama, jalan tersebut diperkirakan dilalui beban lalu-lintas standar sebesar 2.5×10^6 dan proyeksi tingkat pertumbuhan (gabungan) adalah 3% per tahun. Parameter-parameter lainnya diasumsikan sebagai berikut :

$$R_{\text{overall}} = 90\%$$

$$R_{\text{stage}} = 95\% \text{ (2 tahap konstruksi)}$$

$$S_0 = 0.35$$

$$\Delta\text{PSI} = 2.1$$

$$\text{SN rencana} = 5.6$$

$$\text{Lalu-lintas pada akhir tahun ke-13, } w_{18} = 16.0 \times 10^6$$

$$\text{Penurunan tingkat pelayanan akibat lalu-lintas sampai akhir tahun ke-13, } \Delta\text{PSI}_{\text{TR}} = 1.89$$

| | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------|
| Modulus resilien tanah dasar efektif | : M_r = | 5.700 psi |
| Aspal beton | : E_{AC} = | 400.000 psi |
| Lapis pondasi atas granular | : E_{BS} = | 30.000 psi |
| Lapis pondasi bawah granular | : E_{SB} = | 11.000 psi |

Koefisien kekuatan relatif (a_i) untuk masing-masing lapis perkerasan adalah sebagai berikut :

| | | |
|------------------------------|-----------|-----------------|
| Aspal beton | : a_1 = | 0.42 (Gambar 2) |
| Lapis pondasi atas granular | : a_2 = | 0.14 (Gambar 3) |
| Lapis pondasi bawah granular | : a_3 = | 0.08 (Gambar 4) |

Koefisien drainase (nilai m_i) untuk masing-masing lapis pondasi adalah sebagai berikut :

| | | |
|------------------------------|-----------|----------------|
| Lapis pondasi atas granular | : a_2 = | 1.20 (Tabel 5) |
| Lapis pondasi bawah granular | : a_3 = | 1.20 (Tabel 5) |

Penyelesaian

Tentukan SN yang diperlukan di atas material lapis pondasi dengan nomograf pada Gambar 7 dengan menggunakan modulus resilien material lapis pondasi atas (dari pada modulus resilien tanah dasar). Nilai $E_{BS} = 30.000$ psi, untuk tahap pertama reliability (R) = 95 %, $w_{18} = 16.0 \times 10^6$ dan $\Delta\text{PSI}_{\text{TR}} = 1.89$ menghasilkan $\text{SN}_1 = 3.2$. Sehingga, tebal lapis permukaan aspal beton yang diperlukan adalah :

$$D_1^* = \frac{\text{SN}_1}{a_1} = \frac{3.2}{0.42} = 7.6 \text{ (atau 8 inci)}$$

$$\text{SN}_1^* = a_1 D_1^* = 0.42 \times 8 = 3.36$$

Seperti untuk lapis aspal beton, dengan menggunakan modulus lapis pondasi bawah 11.000 psi sebagai modulus resilien tanah dasar, $\text{SN}_2 = 4.5$ dan tebal material lapis pondasi atas yang diperlukan adalah :

$$\begin{aligned}
 D_2^* &= \left(\frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} \right) \\
 &= \left(\frac{4.5 - 3.36}{0.14 \times 1.20} \right) = 6.8 \text{ (atau 7 inci)} \\
 SN_2^* &= 7 \times 0.14 \times 1.20 = 1.18
 \end{aligned}$$

Akhirnya, tebal material lapis pondasi bawah yang diperlukan adalah :

$$\begin{aligned}
 D_3^* &= \left(\frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \right) \\
 &= \left(\frac{5.6 - (3.36 + 1.18)}{0.08 \times 1.20} \right) = 11 \text{ inci}
 \end{aligned}$$

Untuk konstruksi tahap kedua, perencanaannya sama dengan perencanaan untuk pelapisan tambah (overlay) dengan menggunakan R_{stage} sebesar 95%. Akan tetapi, terlebih dahulu dilakukan survey untuk mengumpulkan data-data kondisi perkerasan tahap pertama pada akhir tahun ke – 13. Data-data tersebut diperlukan untuk merencanakan tebal lapis tambah yang sama dengan tebal lapis perkerasan untuk konstruksi tahap kedua.

Lampiran B

Contoh Perhitungan Tebal Lapis Tambah

Diketahui :

Hasil penyelidikan FWD dengan 7 geophones.

Lendutan : 417, 337, 235, 151, 117, 74, 38 (micron).

Jarak geophones : 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1500 (mm).

Tegangan pembebanan : 580 kPa.

Jari-jari pelat pembebanan : 15 cm.

Temperatur perkerasan : 38 °C (100 °F).

Tebal lapisan permukaan beraspal 3 in.

Lapis pondasi atas terdiri dari lapis pondasi yang distabilisasi dengan aspal dengan tebal 5 in.

Lapis pondasi bawah terdiri dari lapisan lepas dengan tebal 12 in.

Lalu lintas yang akan diakomodasi : 5 000 000.

IPo : 4

IPt : 2

IPf : 1.5

Zr = -2.054 (Reliability 98%).

Tentukan tebal lapis tambah dengan AC (koefisien relatif 0.40) dengan berdasarkan data lendutan dan menggunakan metoda analisa komponen.

Penyelesaian :

1. Perhitungan tebal lapis tambah berdasarkan data lendutan

Untuk tebal lapisan beraspal 3 in dan temperatur perkerasan 100 °F, maka didapat faktor koreksi temperatur 0.83.

Menghitung modulus resilien tanah dasar :

Dicoba-coba mulai dengan geophone nomor 2 dan ambil nilai yang terkecil, maka didapat Mr = 20217 psi pada geophone nomor 5.

Modulus resilien tanah dasar rencana :

Mr design = 0.33 x Mr = 6672 psi.

Menghitung modulus efektif lapisan perkerasan :

Gunakan persamaan (A), dengan coba-coba didapat Ep = 75270 psi.

Menghitung ITPeff :

ITPeff = 0.00450 D (Ep)^{1/3}

ITPeff = 3.80

Menghitung ITPf :

Gunakan grafik atau rumus dengan mengambil IPo = 4, IPt = 2, IPf = 1.5, lalu lintas = 5 000 000, dan Mr design = 6672 psi.

Didapat ITPf = 4.9

Menghitung tebal lapis tambah :

$$h_{ol} = \frac{ITP_f - ITP_{eff}}{a_{ol}}$$

Didapat tebal lapis tambah = 2.7 in

Kontrol :

$$r \geq 0.7 \text{ ac}$$

dimana :

$$ac = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{Mr}} \right)^2}$$

$$ac = 31.16 \text{ in}$$

$$r = 23.62 \text{ in} \geq 0.7 \text{ ac} \dots\dots\text{OK}$$

Berhubung perhitungan banyak memakai iterasi, maka disarankan sebaiknya menulis program pendek komputer atau menggunakan spreadsheet.

2. Perhitungan tebal lapis tambah menggunakan metoda analisa komponen

Data tambahan :

$a_1 = 0.38$ (terdapat sedikit retak kulit buaya)

$a_2 = 0.30$ (terdapat retak melintang dengan tingkat keparahan rendah)

$a_3 = 0.12$ (tidak ada pumping atau degradasi)

Untuk beban gandar standar kumulatif selama umur rencana 5000000, $Mr = 6700 \text{ psi.}$, $Z_r = -2.054$, $S_0 = 0.45$, dari grafik didapat : $ITP_f = 5.2$.

Maka tebal lapis tambah yang diperlukan (D_{ol}) adalah:

$$ITP_f = a_{ol} \cdot D_{ol} + a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$5.2 = 0.4 \times D_{ol} + 0.38 \times 3 + 0.30 \times 5 + 0.12 \times 12$$

$$D_{ol} = 2.8 \text{ in.}$$

Didapat tebal lapis tambah = 2.8 in.

Lampiran C

Contoh Perhitungan Beban Gandar Standar Kumulatif

Data lalu-lintas untuk 2 arah sebagai berikut :

- Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1) = 2000 kendaraan
- Bus 8 ton (3 + 5) = 600 kendaraan
- Truk 2 as 13 ton (5 + 8) = 100 kendaraan
- Truk 3 as 20 ton (6 + 7 . 7) = 60 kendaraan

Jalan tersebut terdiri atas 2 lajur 2 arah. Hitunglah beban gandar standar kumulatif selama 10 tahun, apabila perkembangan lalu-lintas (g) = 10%, ITP = 4 dan Ipt = 2.0.

Penyelesaian :

1. Mencari Faktor Ekuivalen masing-masing kendaraan; ITP = 4, Ipt = 2.0
 Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1) = $(10 \text{ kN} / 53 \text{ kN})^4 + 0.0002 = 0.0015$
 Bus 8 ton (3 + 5) = $(30 \text{ kN} / 53 \text{ kN})^4 + 0.134 = 0.237$
 Truk 2 as 13 ton (5 + 8) = $(50 \text{ kN} / 53 \text{ kN})^4 + 0.903 = 1.695$
 Truk 3 as 20 ton (6 + 7 . 7) = $(60 \text{ kN} / 53 \text{ kN})^4 + 0.693 = 2.335$
2. Mencari beban gandar standar untuk lajur rencana pertahun
 $\hat{w}_{18} \text{ perhari} = 2000 \times 0.0015 + 600 \times 0.237 + 100 \times 1.695 + 60 \times 2.335$
 $= 454.71$
 $w_{18} \text{ per hari} = DD \times DL \times \hat{w}_{18} = 0.5 \times 1.0 \times 454.71 = 227.35$
 $w_{18} \text{ per tahun} = 365 \times 227.35 = 82985 \text{ beban gandar standar}$
3. Beban gandar standar untuk lajur rencana selama umur rencana :
 $W_{18} = w_{18} \times ((1+g)^n - 1) / g = 82985 \times ((1+0.1)^{10} - 1) / 0.1$
 $= 1.322.567 \text{ beban gandar standar.}$

Lampiran D

Faktor Ekuivalen Beban

| Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 |
| 4 | .002 | .003 | .002 | .002 | .002 | .002 |
| 6 | .009 | .012 | .011 | .010 | .009 | .009 |
| 8 | .030 | .035 | .036 | .033 | .031 | .029 |
| 10 | .075 | .085 | .090 | .085 | .079 | .076 |
| 12 | .165 | .177 | .189 | .183 | .174 | .168 |
| 14 | .325 | .338 | .354 | .350 | .338 | .331 |
| 16 | .589 | .598 | .613 | .612 | .603 | .596 |
| 18 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 1.61 | 1.59 | 1.56 | 1.55 | 1.57 | 1.59 |
| 22 | 2.49 | 2.44 | 2.35 | 2.31 | 2.35 | 2.41 |
| 24 | 3.71 | 3.62 | 3.43 | 3.33 | 3.40 | 3.51 |
| 26 | 5.36 | 5.21 | 4.88 | 4.68 | 4.77 | 4.96 |
| 28 | 7.54 | 7.31 | 6.78 | 6.42 | 6.52 | 6.83 |
| 30 | 10.4 | 10.0 | 9.2 | 8.6 | 8.7 | 9.2 |
| 32 | 14.0 | 13.5 | 12.4 | 11.5 | 11.5 | 12.1 |
| 34 | 18.5 | 17.9 | 16.3 | 15.0 | 14.9 | 15.6 |
| 36 | 24.2 | 23.3 | 21.2 | 19.3 | 19.0 | 19.9 |
| 38 | 31.1 | 29.9 | 27.1 | 24.6 | 24.0 | 25.1 |
| 40 | 39.6 | 38.0 | 34.3 | 30.9 | 30.0 | 31.2 |
| 42 | 49.7 | 47.7 | 43.0 | 38.6 | 37.2 | 38.5 |
| 44 | 61.8 | 59.3 | 53.4 | 47.6 | 45.7 | 47.1 |
| 46 | 76.1 | 73.0 | 65.6 | 58.3 | 55.7 | 57.0 |
| 48 | 92.9 | 89.1 | 80.0 | 70.9 | 67.3 | 68.6 |
| 50 | 113. | 108. | 97. | 86. | 81. | 82. |

| Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.0 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | .0003 | .0003 | .0003 | .0002 | .0002 | .0002 |
| 6 | .001 | .001 | .001 | .001 | .001 | .001 |
| 8 | .003 | .003 | .003 | .003 | .003 | .002 |
| 10 | .007 | .008 | .008 | .007 | .006 | .006 |
| 12 | .013 | .016 | .016 | .014 | .013 | .012 |
| 14 | .024 | .029 | .029 | .026 | .024 | .023 |
| 16 | .041 | .048 | .050 | .046 | .042 | .040 |
| 18 | .066 | .077 | .081 | .075 | .069 | .066 |
| 20 | .103 | .117 | .124 | .117 | .109 | .105 |
| 22 | .156 | .171 | .183 | .174 | .164 | .158 |
| 24 | .227 | .244 | .260 | .252 | .239 | .231 |
| 26 | .322 | .340 | .360 | .353 | .338 | .329 |
| 28 | .447 | .465 | .487 | .481 | .466 | .455 |
| 30 | .607 | .623 | .646 | .643 | .627 | .617 |
| 32 | .810 | .823 | .843 | .842 | .829 | .819 |
| 34 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.07 |
| 36 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 |
| 38 | 1.76 | 1.75 | 1.73 | 1.72 | 1.73 | 1.74 |
| 40 | 2.22 | 2.19 | 2.15 | 2.13 | 2.16 | 2.18 |
| 42 | 2.77 | 2.73 | 2.64 | 2.62 | 2.66 | 2.70 |
| 44 | 3.42 | 3.36 | 3.23 | 3.18 | 3.24 | 3.31 |
| 46 | 4.20 | 4.11 | 3.92 | 3.83 | 3.91 | 4.02 |
| 48 | 5.10 | 4.98 | 4.72 | 4.58 | 4.68 | 4.83 |
| 50 | 6.15 | 5.99 | 5.64 | 5.44 | 5.56 | 5.77 |
| 52 | 7.37 | 7.16 | 6.71 | 6.43 | 6.56 | 6.83 |
| 54 | 8.77 | 8.51 | 7.93 | 7.55 | 7.69 | 8.03 |
| 56 | 10.4 | 10.1 | 9.3 | 8.8 | 9.0 | 9.4 |
| 58 | 12.2 | 11.8 | 10.9 | 10.3 | 10.4 | 10.9 |
| 60 | 14.3 | 13.8 | 12.7 | 11.9 | 12.0 | 12.6 |
| 62 | 16.6 | 16.0 | 14.7 | 13.7 | 13.8 | 14.5 |
| 64 | 19.3 | 18.6 | 17.0 | 15.8 | 15.8 | 16.6 |
| 66 | 22.2 | 21.4 | 19.6 | 18.0 | 18.0 | 18.9 |
| 68 | 25.5 | 24.6 | 22.4 | 20.6 | 20.5 | 21.5 |
| 70 | 29.2 | 28.1 | 25.6 | 23.4 | 23.2 | 24.3 |
| 72 | 33.3 | 32.0 | 29.1 | 26.5 | 26.2 | 27.4 |
| 74 | 37.8 | 36.4 | 33.0 | 30.0 | 29.4 | 30.8 |
| 76 | 42.8 | 41.2 | 37.3 | 33.8 | 33.1 | 34.5 |
| 78 | 48.4 | 46.5 | 42.0 | 38.0 | 37.0 | 38.6 |
| 80 | 54.4 | 52.3 | 47.2 | 42.5 | 41.3 | 43.0 |
| 82 | 61.1 | 58.7 | 52.9 | 47.6 | 46.0 | 47.8 |
| 84 | 68.4 | 65.7 | 59.2 | 53.0 | 51.2 | 53.0 |
| 86 | 76.3 | 73.3 | 66.0 | 59.0 | 56.8 | 58.6 |
| 88 | 85.0 | 81.6 | 73.4 | 65.5 | 62.8 | 64.7 |
| 90 | 94.4 | 90.6 | 81.5 | 72.6 | 69.4 | 71.3 |

| Table D.3. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p _t of 2.0 | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 |
| 6 | .0004 | .0004 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 |
| 8 | .0009 | .0010 | .0009 | .0008 | .0007 | .0007 |
| 10 | .002 | .002 | .002 | .002 | .002 | .001 |
| 12 | .004 | .004 | .004 | .003 | .003 | .003 |
| 14 | .006 | .007 | .007 | .006 | .006 | .005 |
| 16 | .010 | .012 | .012 | .010 | .009 | .009 |
| 18 | .016 | .019 | .019 | .017 | .015 | .015 |
| 20 | .024 | .029 | .029 | .026 | .024 | .023 |
| 22 | .034 | .042 | .042 | .038 | .035 | .034 |
| 24 | .049 | .058 | .060 | .055 | .051 | .048 |
| 26 | .068 | .080 | .083 | .077 | .071 | .068 |
| 28 | .093 | .107 | .113 | .105 | .098 | .094 |
| 30 | .125 | .140 | .149 | .140 | .131 | .126 |
| 32 | .164 | .182 | .194 | .184 | .173 | .167 |
| 34 | .213 | .233 | .248 | .238 | .225 | .217 |
| 36 | .273 | .294 | .313 | .303 | .288 | .279 |
| 38 | .346 | .368 | .390 | .381 | .364 | .353 |
| 40 | .434 | .456 | .481 | .473 | .454 | .443 |
| 42 | .538 | .560 | .587 | .580 | .561 | .548 |
| 44 | .662 | .682 | .710 | .705 | .686 | .673 |
| 46 | .807 | .825 | .852 | .849 | .831 | .818 |
| 48 | .976 | .992 | 1.015 | 1.014 | .999 | .987 |
| 50 | 1.17 | 1.18 | 1.20 | 1.20 | 1.19 | 1.18 |
| 52 | 1.40 | 1.40 | 1.42 | 1.42 | 1.41 | 1.40 |
| 54 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 |
| 56 | 1.95 | 1.95 | 1.93 | 1.93 | 1.94 | 1.94 |
| 58 | 2.29 | 2.27 | 2.24 | 2.23 | 2.25 | 2.27 |
| 60 | 2.67 | 2.64 | 2.59 | 2.57 | 2.60 | 2.63 |
| 62 | 3.10 | 3.06 | 2.98 | 2.95 | 2.99 | 3.04 |
| 64 | 3.59 | 3.53 | 3.41 | 3.37 | 3.42 | 3.49 |
| 66 | 4.13 | 4.05 | 3.89 | 3.83 | 3.90 | 3.99 |
| 68 | 4.73 | 4.63 | 4.43 | 4.34 | 4.42 | 4.54 |
| 70 | 5.40 | 5.28 | 5.03 | 4.90 | 5.00 | 5.15 |
| 72 | 6.15 | 6.00 | 5.68 | 5.52 | 5.63 | 5.82 |
| 74 | 6.97 | 6.79 | 6.41 | 6.20 | 6.33 | 6.56 |
| 76 | 7.88 | 7.67 | 7.21 | 6.94 | 7.08 | 7.36 |
| 78 | 8.88 | 8.63 | 8.09 | 7.75 | 7.90 | 8.23 |
| 80 | 9.98 | 9.69 | 9.05 | 8.63 | 8.79 | 9.18 |
| 82 | 11.2 | 10.8 | 10.1 | 9.6 | 9.8 | 10.2 |
| 84 | 12.5 | 12.1 | 11.2 | 10.6 | 10.8 | 11.3 |
| 86 | 13.9 | 13.5 | 12.5 | 11.8 | 11.9 | 12.5 |
| 88 | 15.5 | 15.0 | 13.8 | 13.0 | 13.2 | 13.8 |
| 90 | 17.2 | 16.6 | 15.3 | 14.3 | 14.5 | 15.2 |

| Table D.4. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.5 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0004 | .0004 | .0003 | .0002 | .0002 | .0002 |
| 4 | .003 | .004 | .004 | .003 | .002 | .002 |
| 6 | .011 | .017 | .017 | .013 | .010 | .009 |
| 8 | .032 | .047 | .051 | .041 | .034 | .031 |
| 10 | .078 | .102 | .118 | .102 | .088 | .080 |
| 12 | .168 | .198 | .229 | .213 | .189 | .176 |
| 14 | .328 | .358 | .399 | .388 | .360 | .342 |
| 16 | .591 | .613 | .646 | .645 | .623 | .606 |
| 18 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 1.61 | 1.57 | 1.49 | 1.47 | 1.51 | 1.55 |
| 22 | 2.48 | 2.38 | 2.17 | 2.09 | 2.18 | 2.30 |
| 24 | 3.69 | 3.49 | 3.09 | 2.89 | 3.03 | 3.27 |
| 26 | 5.33 | 4.99 | 4.31 | 3.91 | 4.09 | 4.48 |
| 28 | 7.49 | 6.98 | 5.90 | 5.21 | 5.39 | 5.98 |
| 30 | 10.3 | 9.5 | 7.9 | 6.8 | 7.0 | 7.8 |
| 32 | 13.9 | 12.8 | 10.5 | 8.8 | 8.9 | 10.0 |
| 34 | 18.4 | 16.9 | 13.7 | 11.3 | 11.2 | 12.5 |
| 36 | 24.0 | 22.0 | 17.7 | 14.4 | 13.9 | 15.5 |
| 38 | 30.9 | 28.3 | 22.6 | 18.1 | 17.2 | 19.0 |
| 40 | 39.3 | 35.9 | 28.5 | 22.5 | 21.1 | 23.0 |
| 42 | 49.3 | 45.0 | 35.6 | 27.8 | 25.6 | 27.7 |
| 44 | 61.3 | 55.9 | 44.0 | 34.0 | 31.0 | 33.1 |
| 46 | 75.5 | 68.8 | 54.0 | 41.4 | 37.2 | 39.3 |
| 48 | 92.2 | 83.9 | 65.7 | 50.1 | 44.5 | 46.5 |
| 50 | 112. | 102. | 79. | 60. | 53. | 55. |

| Table D.5. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.5 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0001 | .0001 | .0001 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | .0005 | .0005 | .0004 | .0003 | .0003 | .0002 |
| 6 | .002 | .002 | .002 | .001 | .001 | .001 |
| 8 | .004 | .006 | .005 | .004 | .003 | .003 |
| 10 | .008 | .013 | .011 | .009 | .007 | .006 |
| 12 | .015 | .024 | .023 | .018 | .014 | .013 |
| 14 | .026 | .041 | .042 | .033 | .027 | .024 |
| 16 | .044 | .065 | .070 | .057 | .047 | .043 |
| 18 | .070 | .097 | .109 | .092 | .077 | .070 |
| 20 | .107 | .141 | .162 | .141 | .121 | .110 |
| 22 | .160 | .198 | .229 | .207 | .180 | .166 |
| 24 | .231 | .273 | .315 | .292 | .260 | .242 |
| 26 | .327 | .370 | .420 | .401 | .364 | .342 |
| 28 | .451 | .493 | .548 | .534 | .495 | .470 |
| 30 | .611 | .648 | .703 | .695 | .658 | .633 |
| 32 | .813 | .843 | .889 | .887 | .857 | .834 |
| 34 | 1.06 | 1.08 | 1.11 | 1.11 | 1.09 | 1.08 |
| 36 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 |
| 38 | 1.75 | 1.73 | 1.69 | 1.68 | 1.70 | 1.73 |
| 40 | 2.21 | 2.16 | 2.06 | 2.03 | 2.08 | 2.14 |
| 42 | 2.76 | 2.67 | 2.49 | 2.43 | 2.51 | 2.61 |
| 44 | 3.41 | 3.27 | 2.99 | 2.88 | 3.00 | 3.16 |
| 46 | 4.18 | 3.98 | 3.58 | 3.40 | 3.55 | 3.79 |
| 48 | 5.08 | 4.80 | 4.25 | 3.98 | 4.17 | 4.49 |
| 50 | 6.12 | 5.76 | 5.03 | 4.64 | 4.86 | 5.28 |
| 52 | 7.33 | 6.87 | 5.93 | 5.38 | 5.63 | 6.17 |
| 54 | 8.72 | 8.14 | 6.95 | 6.22 | 6.47 | 7.15 |
| 56 | 10.3 | 9.6 | 8.1 | 7.2 | 7.4 | 8.2 |
| 58 | 12.1 | 11.3 | 9.4 | 8.2 | 8.4 | 9.4 |
| 60 | 14.2 | 13.1 | 10.9 | 9.4 | 9.6 | 10.7 |
| 62 | 16.5 | 15.3 | 12.6 | 10.7 | 10.8 | 12.1 |
| 64 | 19.1 | 17.6 | 14.5 | 12.2 | 12.2 | 13.7 |
| 66 | 22.1 | 20.3 | 16.6 | 13.8 | 13.7 | 15.4 |
| 68 | 25.3 | 23.3 | 18.9 | 15.6 | 15.4 | 17.2 |
| 70 | 29.0 | 26.6 | 21.5 | 17.6 | 17.2 | 19.2 |
| 72 | 33.0 | 30.3 | 24.4 | 19.8 | 19.2 | 21.3 |
| 74 | 37.5 | 34.4 | 27.6 | 22.2 | 21.3 | 23.6 |
| 76 | 42.5 | 38.9 | 31.1 | 24.8 | 23.7 | 26.1 |
| 78 | 48.0 | 43.9 | 35.0 | 27.8 | 26.2 | 28.8 |
| 80 | 54.0 | 49.4 | 39.2 | 30.9 | 29.0 | 31.7 |
| 82 | 60.6 | 55.4 | 43.9 | 34.4 | 32.0 | 34.8 |
| 84 | 67.8 | 61.9 | 49.0 | 38.2 | 35.3 | 38.1 |
| 86 | 75.7 | 69.1 | 54.5 | 42.3 | 38.8 | 41.7 |
| 88 | 84.3 | 76.9 | 60.6 | 46.8 | 42.6 | 45.6 |
| 90 | 93.7 | 85.4 | 67.1 | 51.7 | 46.8 | 49.7 |

| Table D.6. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p_t of 2.5 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | .0002 | .0002 | .0002 | .0001 | .0001 | .0001 |
| 6 | .0006 | .0007 | .0005 | .0004 | .0003 | .0003 |
| 8 | .001 | .002 | .001 | .001 | .001 | .001 |
| 10 | .003 | .004 | .003 | .002 | .002 | .002 |
| 12 | .005 | .007 | .006 | .004 | .003 | .003 |
| 14 | .008 | .012 | .010 | .008 | .006 | .006 |
| 16 | .012 | .019 | .018 | .013 | .011 | .010 |
| 18 | .018 | .029 | .028 | .021 | .017 | .016 |
| 20 | .027 | .042 | .042 | .032 | .027 | .024 |
| 22 | .038 | .058 | .060 | .048 | .040 | .036 |
| 24 | .053 | .078 | .084 | .068 | .057 | .051 |
| 26 | .072 | .103 | .114 | .095 | .080 | .072 |
| 28 | .098 | .133 | .151 | .128 | .109 | .099 |
| 30 | .129 | .169 | .195 | .170 | .145 | .133 |
| 32 | .169 | .213 | .247 | .220 | .191 | .175 |
| 34 | .219 | .266 | .308 | .281 | .246 | .228 |
| 36 | .279 | .329 | .379 | .352 | .313 | .292 |
| 38 | .352 | .403 | .461 | .436 | .393 | .368 |
| 40 | .439 | .491 | .554 | .533 | .487 | .459 |
| 42 | .543 | .594 | .661 | .644 | .597 | .567 |
| 44 | .666 | .714 | .781 | .769 | .723 | .692 |
| 46 | .811 | .854 | .918 | .911 | .868 | .838 |
| 48 | .979 | 1.015 | 1.072 | 1.069 | 1.033 | 1.005 |
| 50 | 1.17 | 1.20 | 1.24 | 1.25 | 1.22 | 1.20 |
| 52 | 1.40 | 1.41 | 1.44 | 1.44 | 1.43 | 1.41 |
| 54 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 |
| 56 | 1.95 | 1.93 | 1.90 | 1.90 | 1.91 | 1.93 |
| 58 | 2.29 | 2.25 | 2.17 | 2.16 | 2.20 | 2.24 |
| 60 | 2.67 | 2.60 | 2.48 | 2.44 | 2.51 | 2.58 |
| 62 | 3.09 | 3.00 | 2.82 | 2.76 | 2.85 | 2.95 |
| 64 | 3.57 | 3.44 | 3.19 | 3.10 | 3.22 | 3.36 |
| 66 | 4.11 | 3.94 | 3.61 | 3.47 | 3.62 | 3.81 |
| 68 | 4.71 | 4.49 | 4.06 | 3.88 | 4.05 | 4.30 |
| 70 | 5.38 | 5.11 | 4.57 | 4.32 | 4.52 | 4.84 |
| 72 | 6.12 | 5.79 | 5.13 | 4.80 | 5.03 | 5.41 |
| 74 | 6.93 | 6.54 | 5.74 | 5.32 | 5.57 | 6.04 |
| 76 | 7.84 | 7.37 | 6.41 | 5.88 | 6.15 | 6.71 |
| 78 | 8.83 | 8.28 | 7.14 | 6.49 | 6.78 | 7.43 |
| 80 | 9.92 | 9.28 | 7.95 | 7.15 | 7.45 | 8.21 |
| 82 | 11.1 | 10.4 | 8.8 | 7.9 | 8.2 | 9.0 |
| 84 | 12.4 | 11.6 | 9.8 | 8.6 | 8.9 | 9.9 |
| 86 | 13.8 | 12.9 | 10.8 | 9.5 | 9.8 | 10.9 |
| 88 | 15.4 | 14.3 | 11.9 | 10.4 | 10.6 | 11.9 |
| 90 | 17.1 | 15.8 | 13.2 | 11.3 | 11.6 | 12.9 |

| Table D.7. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 3.0 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0008 | .0009 | .0006 | .0003 | .0002 | .0002 |
| 4 | .004 | .008 | .006 | .004 | .002 | .002 |
| 6 | .014 | .030 | .028 | .018 | .012 | .010 |
| 8 | .035 | .070 | .080 | .055 | .040 | .034 |
| 10 | .082 | .132 | .168 | .132 | .101 | .086 |
| 12 | .173 | .231 | .296 | .260 | .212 | .187 |
| 14 | .332 | .388 | .468 | .447 | .391 | .358 |
| 16 | .594 | .633 | .695 | .693 | .651 | .622 |
| 18 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 1.60 | 1.53 | 1.41 | 1.38 | 1.44 | 1.51 |
| 22 | 2.47 | 2.29 | 1.96 | 1.83 | 1.97 | 2.16 |
| 24 | 3.67 | 3.33 | 2.69 | 2.39 | 2.60 | 2.96 |
| 26 | 5.29 | 4.72 | 3.65 | 3.08 | 3.33 | 3.91 |
| 28 | 7.43 | 6.56 | 4.88 | 3.93 | 4.17 | 5.00 |
| 30 | 10.2 | 8.9 | 6.5 | 5.0 | 5.1 | 6.3 |
| 32 | 13.8 | 12.0 | 8.4 | 6.2 | 6.3 | 7.7 |
| 34 | 18.2 | 15.7 | 10.9 | 7.8 | 7.6 | 9.3 |
| 36 | 23.8 | 20.4 | 14.0 | 9.7 | 9.1 | 11.0 |
| 38 | 30.6 | 26.2 | 17.7 | 11.9 | 11.0 | 13.0 |
| 40 | 38.8 | 33.2 | 22.2 | 14.6 | 13.1 | 15.3 |
| 42 | 48.8 | 41.6 | 27.6 | 17.8 | 15.5 | 17.8 |
| 44 | 60.6 | 51.6 | 34.0 | 21.6 | 18.4 | 20.6 |
| 46 | 74.7 | 63.4 | 41.5 | 26.1 | 21.6 | 23.8 |
| 48 | 91.2 | 77.3 | 50.3 | 31.3 | 25.4 | 27.4 |
| 50 | 110. | 94. | 61. | 37. | 30. | 32. |

| Table D.8. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 3.0 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0002 | .0002 | .0001 | .0001 | .0000 | .0000 |
| 4 | .001 | .001 | .001 | .000 | .000 | .000 |
| 6 | .003 | .004 | .003 | .002 | .001 | .001 |
| 8 | .006 | .011 | .009 | .005 | .003 | .003 |
| 10 | .011 | .024 | .020 | .012 | .008 | .007 |
| 12 | .019 | .042 | .039 | .024 | .017 | .014 |
| 14 | .031 | .066 | .068 | .045 | .032 | .026 |
| 16 | .049 | .096 | .109 | .076 | .055 | .046 |
| 18 | .075 | .134 | .164 | .121 | .090 | .076 |
| 20 | .113 | .181 | .232 | .182 | .139 | .119 |
| 22 | .166 | .241 | .313 | .260 | .205 | .178 |
| 24 | .238 | .317 | .407 | .358 | .292 | .257 |
| 26 | .333 | .413 | .517 | .476 | .402 | .360 |
| 28 | .457 | .534 | .643 | .614 | .538 | .492 |
| 30 | .616 | .684 | .788 | .773 | .702 | .656 |
| 32 | .817 | .870 | .956 | .953 | .896 | .855 |
| 34 | 1.07 | 1.10 | 1.15 | 1.15 | 1.12 | 1.09 |
| 36 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.38 |
| 38 | 1.75 | 1.71 | 1.64 | 1.62 | 1.66 | 1.70 |
| 40 | 2.21 | 2.11 | 1.94 | 1.89 | 1.98 | 2.08 |
| 42 | 2.75 | 2.59 | 2.29 | 2.19 | 2.33 | 2.50 |
| 44 | 3.39 | 3.15 | 2.70 | 2.52 | 2.71 | 2.97 |
| 46 | 4.15 | 3.81 | 3.16 | 2.89 | 3.13 | 3.50 |
| 48 | 5.04 | 4.58 | 3.70 | 3.29 | 3.57 | 4.07 |
| 50 | 6.08 | 5.47 | 4.31 | 3.74 | 4.05 | 4.70 |
| 52 | 7.27 | 6.49 | 5.01 | 4.24 | 4.57 | 5.37 |
| 54 | 8.65 | 7.67 | 5.81 | 4.79 | 5.13 | 6.10 |
| 56 | 10.2 | 9.0 | 6.7 | 5.4 | 5.7 | 6.9 |
| 58 | 12.0 | 10.6 | 7.7 | 6.1 | 6.4 | 7.7 |
| 60 | 14.1 | 12.3 | 8.9 | 6.8 | 7.1 | 8.6 |
| 62 | 16.3 | 14.2 | 10.2 | 7.7 | 7.8 | 9.5 |
| 64 | 18.9 | 16.4 | 11.6 | 8.6 | 8.6 | 10.5 |
| 66 | 21.8 | 18.9 | 13.2 | 9.6 | 9.5 | 11.6 |
| 68 | 25.1 | 21.7 | 15.0 | 10.7 | 10.5 | 12.7 |
| 70 | 28.7 | 24.7 | 17.0 | 12.0 | 11.5 | 13.9 |
| 72 | 32.7 | 28.1 | 19.2 | 13.3 | 12.6 | 15.2 |
| 74 | 37.2 | 31.9 | 21.6 | 14.8 | 13.8 | 16.5 |
| 76 | 42.1 | 36.0 | 24.3 | 16.4 | 15.1 | 17.9 |
| 78 | 47.5 | 40.6 | 27.3 | 18.2 | 16.5 | 19.4 |
| 80 | 53.4 | 45.7 | 30.5 | 20.1 | 18.0 | 21.0 |
| 82 | 60.0 | 51.2 | 34.0 | 22.2 | 19.6 | 22.7 |
| 84 | 67.1 | 57.2 | 37.9 | 24.6 | 21.3 | 24.5 |
| 86 | 74.9 | 63.8 | 42.1 | 27.1 | 23.2 | 26.4 |
| 88 | 83.4 | 71.0 | 46.7 | 29.8 | 25.2 | 28.4 |
| 90 | 92.7 | 78.8 | 51.7 | 32.7 | 27.4 | 30.5 |

| Table D.9. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and p_t of 3.0 | | | | | | |
|--|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Axle Load (kips) | Pavement Structural Number (SN) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | .0001 | .0001 | .0001 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 4 | .0005 | .0004 | .0003 | .0002 | .0001 | .0001 |
| 6 | .001 | .001 | .001 | .001 | .000 | .000 |
| 8 | .003 | .004 | .002 | .001 | .001 | .001 |
| 10 | .005 | .008 | .005 | .003 | .002 | .002 |
| 12 | .007 | .014 | .010 | .006 | .004 | .003 |
| 14 | .011 | .023 | .018 | .011 | .007 | .006 |
| 16 | .016 | .035 | .030 | .018 | .013 | .010 |
| 18 | .022 | .050 | .047 | .029 | .020 | .017 |
| 20 | .031 | .069 | .069 | .044 | .031 | .026 |
| 22 | .043 | .090 | .097 | .065 | .046 | .039 |
| 24 | .059 | .116 | .132 | .092 | .066 | .056 |
| 26 | .079 | .145 | .174 | .126 | .092 | .078 |
| 28 | .104 | .179 | .223 | .168 | .126 | .107 |
| 30 | .136 | .218 | .279 | .219 | .167 | .143 |
| 32 | .176 | .265 | .342 | .279 | .218 | .188 |
| 34 | .226 | .319 | .413 | .350 | .279 | .243 |
| 36 | .286 | .382 | .491 | .432 | .352 | .310 |
| 38 | .359 | .456 | .577 | .524 | .437 | .389 |
| 40 | .447 | .543 | .671 | .626 | .536 | .483 |
| 42 | .550 | .643 | .775 | .740 | .649 | .593 |
| 44 | .673 | .760 | .889 | .865 | .777 | .720 |
| 46 | .817 | .894 | 1.014 | 1.001 | .920 | .865 |
| 48 | .984 | 1.048 | 1.152 | 1.148 | 1.080 | 1.030 |
| 50 | 1.18 | 1.23 | 1.30 | 1.31 | 1.26 | 1.22 |
| 52 | 1.40 | 1.43 | 1.47 | 1.48 | 1.45 | 1.43 |
| 54 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 | 1.66 |
| 56 | 1.95 | 1.92 | 1.86 | 1.85 | 1.88 | 1.91 |
| 58 | 2.28 | 2.21 | 2.09 | 2.06 | 2.13 | 2.20 |
| 60 | 2.66 | 2.54 | 2.34 | 2.28 | 2.39 | 2.50 |
| 62 | 3.08 | 2.92 | 2.61 | 2.52 | 2.66 | 2.84 |
| 64 | 3.56 | 3.33 | 2.92 | 2.77 | 2.96 | 3.19 |
| 66 | 4.09 | 3.79 | 3.25 | 3.04 | 3.27 | 3.58 |
| 68 | 4.68 | 4.31 | 3.62 | 3.33 | 3.60 | 4.00 |
| 70 | 5.34 | 4.88 | 4.02 | 3.64 | 3.94 | 4.44 |
| 72 | 6.08 | 5.51 | 4.46 | 3.97 | 4.31 | 4.91 |
| 74 | 6.89 | 6.21 | 4.94 | 4.32 | 4.69 | 5.40 |
| 76 | 7.78 | 6.98 | 5.47 | 4.70 | 5.09 | 5.93 |
| 78 | 8.76 | 7.83 | 6.04 | 5.11 | 5.51 | 6.48 |
| 80 | 9.84 | 8.75 | 6.67 | 5.54 | 5.96 | 7.06 |
| 82 | 11.0 | 9.8 | 7.4 | 6.0 | 6.4 | 7.7 |
| 84 | 12.3 | 10.9 | 8.1 | 6.5 | 6.9 | 8.3 |
| 86 | 13.7 | 12.1 | 8.9 | 7.0 | 7.4 | 9.0 |
| 88 | 15.3 | 13.4 | 9.8 | 7.6 | 8.0 | 9.6 |
| 90 | 16.9 | 14.8 | 10.7 | 8.2 | 8.5 | 10.4 |