

SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM

NO. 12 /SE/M/2013

TENTANG

**PEDOMAN PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN
LENTUR**



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM



**MENTERI PEKERJAAN UMUM
REPUBLIK INDONESIA**

Kepada Yth.:

- 1) Gubernur di seluruh Indonesia;**
- 2) Bupati dan Walikota di seluruh Indonesia;**
- 3) Seluruh Pejabat Eselon I di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum;**
- 4) Seluruh Pejabat Eselon II di Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.**

**SURAT EDARAN
NOMOR : 12 /SE/M/2013
TENTANG**

PEDOMAN PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN LENTUR

A. Umum

Dalam merancang tebal perkerasan lentur, kualitas bahan yang akan digunakan dan klasifikasi serta daya dukung tanah dasar harus dinilai berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan lapangan.

Struktur perkerasan lentur, umumnya terdiri atas lapis fondasi bawah, lapis fondasi, dan lapis permukaan beraspal. Lapis fondasi bawah diperlukan sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat (terutama pada saat pelaksanaan konstruksi). Bahan-bahan untuk lapis fondasi harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban roda. Sedangkan pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu mempertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi agar dicapai manfaat sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

Untuk melaksanakan Pasal 78 ayat (1) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655), perlu menetapkan Pedoman perancangan tebal perkerasan lentur dengan Surat Edaran Menteri.

Surat Edaran ini dapat diterapkan oleh Pejabat Eselon I dan Eselon II di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum untuk digunakan sebagaimana mestinya, sedangkan bagi Gubernur dan Bupati/Walikota di seluruh Indonesia agar dapat digunakan sebagai acuan.

B. Dasar Pembentukan

Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655):

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi perancang, pelaksana dan pengawas pekerjaan perkerasan jalan pada kegiatan merancang tebal perkerasan lentur.

Surat Edaran ini bertujuan untuk memberikan keterangan dan acuan mengenai penilaian terhadap kualitas bahan yang akan digunakan untuk pelaksanaan dan pengawasan dalam rangka perkerasan jalan.

D. Ruang Lingkup

Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur ini menetapkan kaidah-kaidah dan tata cara perancangan tebal perkerasan lentur untuk jalan baru atau rekonstruksi, serta memuat deskripsi berbagai faktor dan parameter yang digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan lentur.

Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur ini membahas struktur perkerasan lentur, kriteria perancangan, dan prosedur perancangan perkerasan lentur.

E. Penutup

Surat Edaran tentang Pedoman Perancangan Tebal Perkerasan Lentur ini dimuat secara lengkap dalam Lampiran, merupakan satu kesatuan dari bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Ditetapkan di ...Jakarta.....
Pada tanggal ...19 Juni 2013.....



PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

Perancangan tebal perkerasan lentur



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Struktur perkerasan lentur	4
4.1 Tanah dasar	4
4.2 Lapis fondasi bawah	5
4.3 Lapis fondasi	5
4.4 Lapisan permukaan	5
5 Kriteria perancangan	6
5.1 Lalu lintas	6
5.2 Tingkat kepercayaan (<i>reliabilitas</i>)	8
5.3 Drainase	9
5.4 Kinerja perkerasan	15
5.5 Daya dukung tanah dasar	16
5.6 Koefisien kekuatan relatif (<i>a</i>)	17
5.7 Pemilihan tipe lapisan beraspal	19
5.8 Ketebalan minimum lapisan perkerasan	19
6 Prosedur perancangan perkerasan lentur	20
6.1 Umum	20
6.2 Penentuan nilai struktur yang diperlukan	20
Lampiran A (normatif) Faktor Ekuivalen Beban	25
Lampiran B (normatif) Pendekatan nilai <i>m</i> berdasarkan kondisi lapangan (Indonesia <i>Infrastructure Initiative</i> , 2011)	34
Lampiran C (informatif) Grafik koefisien kekuatan relatif	36
Lampiran D (informatif) Contoh tipikal drainase bawah permukaan	39
Lampiran E (informatif) Contoh perancangan konstruksi perkerasan lentur jalan baru	41
Lampiran F (informatif) Faktor konversi satuan	52
Lampiran G (informatif) Daftar nama dan lembaga	53
Bibliografi	54

Prakata

Pedoman perancangan tebal perkerasan lentur merupakan revisi dari Pt T-01-2002-B Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur, khusus untuk perancangan perkerasan lentur baru atau rekonstruksi, serta revisi dari SNI 03-1732-1989 Tata Cara perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen. Terdapat beberapa teknologi bahan jalan yang baru belum diakomodasi pada Pt T-01-2002-B dan SNI 03-1732-1989 serta penyesuaian koefisien kekuatan relatif campuran beraspal dengan kondisi temperatur di Indonesia.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan 91-01/S2 melalui Gugus Kerja Bahan dan Perkerasan Jalan

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) No. 8 Tahun 2007 dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 18 Oktober 2012 di Bandung, dengan melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Pedoman perancangan tebal perkerasan lentur merupakan hasil adaptasi dari metode AASHTO 1993 serta merevisi Pt T-01-2002-B dan SNI 03-1732-1989, terutama koefisien kekuatan relatif campuran beraspal sesuai kondisi temperatur di Indonesia dengan temperatur standar (25°C). Di samping itu memasukkan koefisien kekuatan relatif untuk teknologi bahan jalan yang baru yang belum diakomodasi pada Pt T-01-2002-B dan SNI 03-1732-1989.

Dengan telah diberlakukannya pedoman ini, pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur (Pt T-01-2002-B), khusus untuk perancangan perkerasan lentur baru atau rekonstruksi serta SNI 03-1732-1989, tata cara perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan analisa metode komponen tidak berlaku lagi.

Pedoman ini diharapkan akan memberikan manfaat bagi perancang, pelaksana, dan pengawas dalam merancang tebal perkerasan lentur. Perbedaan antara SNI 03-1732-1989 dan Pt T-01-2002-B dengan buku pedoman ini adalah disajikan di bawah ini.

Uraian	Perbedaan		
	SNI 03-1732-1989	Pt T-01-2002-B	Konsep pedoman ini
1. Temperatur standar	-	20°C	25°C
2. Koefisien kekuatan relatif lapisan beraspal	Berdasarkan nilai stabilitas Marshall dan nilai stabilitas Marshall yang ditetapkan lebih rendah dari spesifikasi umum pada saat ini	Berdasarkan nilai modulus elastis beton aspal dengan bahan pengikat aspal pen 85/100	Berdasarkan nilai modulus elastis dan stabilitas Marshall beton aspal dengan bahan pengikat aspal pen 60/70 atau aspal modifikasi
3. Koefisien Drainase	-	Diakomodasi	Diakomodasi dan tahapan perhitungannya diuraikan
4. Teknologi fondasi hasil daur ulang	Tidak diakomodasi	Diakomodasi	Diakomodasi

Perancangan tebal perkerasan lentur

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan kaidah-kaidah dan tata cara perancangan tebal perkerasan lentur untuk jalan baru atau rekonstruksi. Pedoman ini memuat deskripsi berbagai faktor dan parameter yang digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan lentur.

Dalam menggunakan pedoman perancangan tebal perkerasan lentur ini, penilaian terhadap kualitas bahan yang akan digunakan serta klasifikasi dan daya dukung tanah dasar harus dilakukan terlebih dahulu berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan lapangan. Demikian pula untuk perancangan rekonstruksi, penilaian kekuatan perkerasan jalan yang ada (*existing*) dan daya dukung tanah dasar harus dilakukan terlebih dahulu. Penilaian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab perancang, sesuai dengan kondisi setempat dan pengalamannya.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

SNI 03-6797-2002, *Tata cara klasifikasi tanah dan campuran tanah agregat untuk konstruksi jalan*

SNI 1742:2008, *Cara uji kepadatan ringan untuk tanah*

SNI 1743:2008, *Cara uji kepadatan berat untuk tanah*

SNI 1738:2011, *Cara uji pengujian CBR lapangan*

SNI 1744:2012, *Metode uji CBR laboratorium*

Pd.T-10-2005-B, *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*.

AASHTO Designation : R 30-02 (2006). *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)*, Washington, DC.

AASHTO 1993, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*. AASHTO, Washington, DC.

AASHTO T 274, *Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils*.

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1

beban sumbu standar

beban sumbu tunggal dengan roda ganda yang mempunyai total berat sebesar 8,16 ton

3.2

indeks pelayanan (IP)

angka yang dipergunakan untuk menyatakan kinerja perkerasan jalan yang berhubungan dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat

3.3

koefisien drainase (m)

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

3.4

lajur rencana

salah satu lajur lalu lintas dari sistem jalan raya yang menampung lalu lintas terbesar dan umumnya lajur rencana yaitu salah satu lajur dari jalan raya dua lajur atau tepi luar dari jalan raya yang berlajur banyak

3.5

lapis permukaan (*wearing course, WC*)

bagian perkerasan yang paling atas

3.6

lapis permukaan antara (*binder course, BC*)

bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis fondasi

3.7

lapis fondasi

bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis fondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis fondasi bawah)

3.8

lapis fondasi bawah

bagian perkerasan yang terletak antara lapis fondasi dan tanah dasar

3.9

lapis fondasi bawah dengan bahan pengikat

fondasi bawah yang biasanya terdiri atas material berbutir yang distabilisasi dengan semen, kapur, atau aspal

3.10

lapis beton aspal (*laston*)

lapisan beraspal dengan gradasi agregat rapat/menerus dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras

3.11

lapis beton aspal modifikasi (*laston modifikasi*)

lapisan beraspal dengan gradasi agregat rapat/menerus dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras yang dimodifikasi (seperti aspal polimer, aspal multigrade dan aspal keras yang dimodifikasi asbuton).

3.12

lapis penetrasi Macadam (*LAPEN*)

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

3.13

lapis tipis beton aspal (*laston*)

lapisan beraspal dengan gradasi agregat senjang dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras

3.14

modulus elastisitas (*E*)

rasio tegangan dan regangan di bagian elastis pada kurva tegangan regangan.

3.15

modulus resilien (M_R)

Modulus elastisitas untuk tanah dasar atau material perkerasan tanpa bahan pengikat.

3.16

perkerasan jalan

konstruksi jalan yang diperuntukan bagi lalu lintas yang terletak di atas tanah dasar

3.17

perkerasan lentur

konstruksi perkerasan jalan yang dibuat dengan menggunakan lapis fondasi agregat dan atau lapis fondasi agregat yang distabilisasi serta lapis permukaan dengan bahan pengikat aspal

3.18

jalur lalu lintas

bagian jalur jalan yang direncanakan khusus untuk lintasan kendaraan bermotor (beroda 4 atau lebih)

3.19

lajur lalu lintas

bagian pada jalur lalu lintas yang ditempuh oleh satu kendaraan bermotor beroda 4 atau lebih, dalam satu jurusan

3.20

reliabilitas

probabilitas bahwa kemampuan layanan perkerasan dalam mempertahankan sampai tingkat pelayanan minimum yang ditentukan atau repetisi beban kendaraan aktual tidak melebihi repetisi beban kendaraan yang diizinkan selama umur rencana

3.21

stabilisasi

suatu tindakan perbaikan mutu bahan perkerasan jalan untuk meningkatkan kekuatan bahan sampai kekuatan tertentu agar bahan tersebut dapat berfungsi dan memberikan kinerja yang lebih baik daripada bahan aslinya

3.22

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.

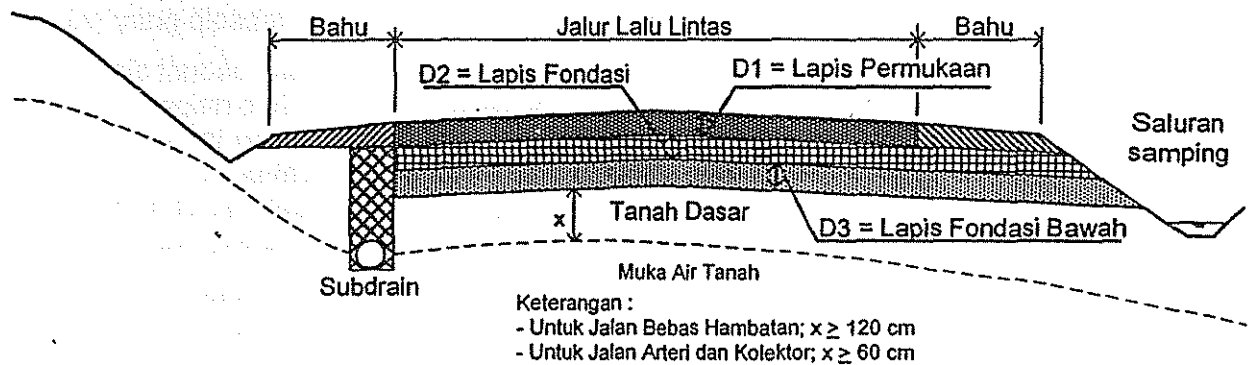
3.23

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

4 Struktur perkerasan lentur

Struktur perkerasan lentur, umumnya terdiri atas: lapis fondasi bawah, lapis fondasi, dan lapis permukaan beraspal. Adapun susunan lapis perkerasan diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 - Susunan lapis perkerasan lentur

4.1 Tanah dasar

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Jenis tanah dasar yang direkomendasikan adalah jenis tanah yang tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut SNI 03-6797-2002 atau CH menurut *Unified* atau *Casagrande Soil Classification*.

Apabila tidak dapat dihindari bahwa perkerasan yang akan dibangun di atas tanah asli yang berplastisitas tinggi dan tingkat kembang susut tinggi (ekspansif) dengan nilai aktifitas $> 1,25$ maka tanah asli tersebut harus ditangani terlebih dahulu dengan mengacu pada Pd.T-10-2005-B "Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan".

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

Modulus resilien (M_R) tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR 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.

$$M_R \text{ (psi).} = 1.500 \times \text{CBR} \dots\dots\dots 1$$

Untuk tanah berbutir dengan nilai CBR terendam di atas 10%, gunakan persamaan berikut ini.

$$M_R \text{ (psi).} = 3.000 \times \text{CBR}^{0,65} \dots\dots\dots 2$$

CBR minimum yang direkomendasikan adalah sebesar 6% setelah perendaman dan memiliki kepadatan kering maksimum (MDD) 100% untuk tanah berbutir halus sesuai SNI 1742:2008 dan untuk tanah berbutir kasar sesuai SNI 1743:2008.

Nilai CBR atau Modulus resilien (M_R) tanah dasar yang mewakili pada suatu titik pengujian adalah yang mewakili untuk kedalaman 100 cm. Adapun nilai CBR rencana pada suatu segmen (seksi) jalan dapat ditentukan dengan mempergunakan cara analitis sesuai butir 5.5.

Tanah dasar harus bebas dari pengaruh air tanah, level muka air tanah yang direkomendasikan untuk jalan bebas hambatan minimum 120 cm dari level permukaan tanah dasar, sedangkan untuk jalan arteri dan jalan kolektor minimum 60 cm. Untuk itu, apabila level muka air tanah pada seksi atau ruas jalan yang akan dibangun cukup tinggi dan kurang dari batas yang direkomendasikan dari level permukaan tanah dasar sebaiknya level permukaan tanah dasar ditinggikan dengan penimbunan tanah pilihan atau di bagian kiri dan kanan jalan dipasang subdrain.

4.2 Lapis fondasi bawah

Lapis fondasi bawah adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak antara tanah dasar dan lapis fondasi. Biasanya terdiri atas lapisan dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan.

Fungsi lapis fondasi bawah antara lain :

- a. sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebar beban roda;
- b. untuk efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi);
- c. mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis fondasi;
- d. sebagai lapis pertama agar pelaksanaan konstruksi berjalan lancar.

Lapis fondasi 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. Bahan fondasi bawah antara lain dapat berupa agregat kelas Batu agregat kelas C.

4.3 Lapis fondasi

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

Fungsi lapis fondasi antara lain :

- a. sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan beban roda;
- b. sebagai lapisan drainase bawah permukaan; dan
- c. sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis fondasi harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan fondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik.

Bahan fondasi, antara lain dapat berupa bahan berbutir dari batu pecah atau agregat Kelas A, tanah distabilisasi dengan semen atau kapur, agregat baru atau agregat fondasi perkerasan lama distabilisasi semen dan lapis fondasi beraspal (*Asphalt Concrete Base (AC-Base)*).

4.4 Lapisan permukaan

4.4.1 Lapis antara

Lapis antara struktur perkerasan lentur terdiri atas campuran beraspal dengan ukuran agregat maksimum 25 mm yang ditempatkan antara lapisan permukaan dengan lapis fondasi.

Fungsi lapis antara lain :

- a. sebagai bagian perkerasan untuk menahan beban roda; dan
- b. sebagai lapisan tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.

Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air. Di samping itu, bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda.

4.4.2 Lapis aus

Lapis aus struktur pekerasan lentur terdiri atas campuran mineral agregat (umumnya ukuran agregat maksimum 19,5 mm) dan bahan pengikat yang ditempatkan sebagai lapisan paling atas dan biasanya terletak di atas lapis antara atau di atas lapis fondasi.

Fungsi lapis aus antara lain :

- sebagai bagian pekerasan untuk menahan beban roda;
- sebagai lapisan tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca;
- sebagai lapisan aus (*wearing course*)

Bahan untuk lapis aus umumnya sama dengan bahan untuk lapis antara 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 perancangan

5.1 Lalu lintas

a) Jumlah lajur dan lebar lajur rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan, yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, jumlah lajur ditentukan dari lebar pekerasan sesuai Tabel 1.

Tabel 1 - Jumlah lajur berdasarkan lebar pekerasan

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

b) Distribusi kendaraan per lajur rencana

Distribusi kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana adalah sesuai dengan jumlah lajur dan arah. Distribusi kendaraan ringan dan berat pada lajur rencana dipengaruhi oleh volume lalu lintas, sehingga untuk menetapkannya diperlukan survey. Namun demikian, koefisien distribusi kendaraan (D_L) dapat menggunakan pendekatan sesuai pada Tabel 2.

Tabel 2 - Koefisien distribusi kendaraan per lajur rencana (D_L)

Jumlah Lajur	Kendaraan ringan*		Kendaraan berat**	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,600	0,500	0,700	0,500
3	0,400	0,400	0,500	0,475
4	0,300	0,300	0,400	0,450
5	-	0,250	-	0,425
6	-	0,200	-	0,400

Keterangan : *) Mobil Penumpang**) Truk dan Bus

c) Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (LEF)

Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan (*Load Equivalency Factor*, LEF) setiap kelas kendaraan adalah sesuai dengan beban sumbu setiap kelas kendaraan, yaitu konfigurasi sumbu tunggal, sumbu ganda (tandem), dan sumbu tiga (*triple*). Faktor ekuivalen beban sumbu kendaraan dapat dihitung sesuai persamaan di bawah ini atau melalui tabel yang disajikan pada Lampiran A.

$$LEF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \quad 3$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(L_x + L_2) + 4,33 \log L_2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,4 + \frac{0,081(L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}}} - \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{0,081(18 + 1)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19}}} \quad 4$$

Keterangan:

LEF adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban sumbu standar.

W_{tx} adalah angka beban sumbu x pada akhir waktu t

W_{t18} adalah angka 18-kip (80kN) beban sumbu tunggal untuk waktu t

L_x adalah beban dalam kippada satu sumbu tunggal ataupun pada sumbu ganda (tandem), atau satu sumbu tandem

L₂ adalah kode beban (1 untuk poros tunggal, 2 untuk poros tandem dan 3 untuk roda tandem)

SN adalah Nilai Struktural, yang merupakan fungsi dari ketebalan dan modulus setiap lapisan dan kondisi drainase dari fondasi dan fondasi bawah

ΔIP adalah perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP₀) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_f).

IP_f adalah indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5)

d) Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana per tahun (w₁₈)

Akumulasi lalu lintas pada lajur rencana per tahun (w₁₈) diberikan dalam kumulatif beban sumbu standar. Untuk mendapatkan lalu lintas pada lajur rencana ini, digunakan persamaan berikut:

$$w_{18} = 365 \times D_L \times \hat{w}_{18} \quad 5.a$$

Keterangan

w₁₈ adalah akumulasi lalu lintas pada lajur rencana per tahun

D_L adalah faktor distribusi lajur pada lajur rencana (Tabel 2).

ŵ₁₈ adalah akumulasi beban sumbu standar kumulatif per hari, sesuai persamaan di bawah ini

$$W_{18} = \sum_{i=1}^n BS_i LEF_i$$

5.b

Keterangan

BS_i adalah beban setiap sumbu kendaraan

LEF_i adalah faktor ekuivalen beban setiap sumbu kendaraan sesuai Persamaan 3

- e) Akumulasi beban sumbu standar selama umur rencana (W_t atau W_{18})

Lalu lintas yang digunakan untuk perancangan tebal perkerasan lentur dalam pedoman ini adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban sumbu 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 :

$$W_t = W_{18} = w_{18} \times \left[\frac{(1+g)^n - 1}{g} \right]$$

6

Keterangan:

$W_t = W_{18}$ adalah jumlah beban sumbu tunggal standar kumulatif pada lajur rencana

w_{18} adalah beban sumbu standar kumulatif selama 1 tahun pada lajur rencana

n adalah umur pelayanan (tahun)

g adalah perkembangan lalu lintas (%)

5.2 Tingkat kepercayaan (*reliabilitas*)

Penyertaan tingkat kepercayaan pada dasarnya merupakan cara untuk memasukkan faktor ketidakpastian ke dalam proses perancangan, yaitu dalam rangka memastikan bahwa berbagai alternatif perancangan perkerasan akan bertahan selama umur rencana. Faktor tingkat kepercayaan memperhitungkan kemungkinan adanya variasi pada prediksi lalu lintas dua arah serta prediksi kinerja, sehingga dapat memberikan tingkat kepastian (R) yang seksi perkerasannya akan bertahan (*survive*) selama umur rencana yang ditetapkan.

Pada umumnya meningkatnya volume lalu lintas dan kesukaran untuk mengalihkan lalu lintas memperlihatkan risiko kinerja yang tidak diharapkan. 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.

Reliabilitas kinerja-perancangan dikontrol dengan faktor reliabilitas (F_R) yang dikalikan dengan perkiraan akumulasi ekuivalen beban sumbu standar pada lajur rencana selama umur rencana (W_{18}). Untuk tingkat reliabilitas (R) yang diberikan, faktor reabilitas merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*, S_0) yang memperhitungkan kemungkinan variasi pada prediksi lalu lintas dan perkiraan kinerja untuk W_{18} yang diberikan. Dalam persamaan perancangan perkerasan lentur, tingkat kepercayaan (R) diakomodasi dengan parameter deviasi normal standar (*standard normal deviate*, Z_R). Tabel 4 memperlihatkan nilai Z_R untuk tingkat pelayanan tertentu.

Tabel 3 - 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

Penerapan konsep reliabilitas harus memperhatikan langkah-langkah berikut ini :

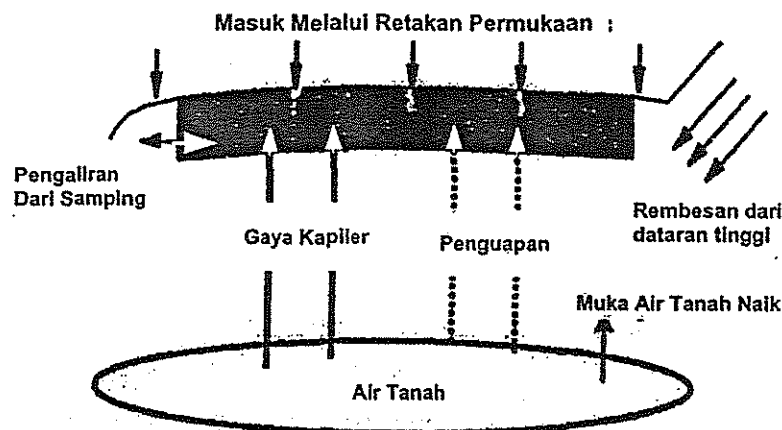
- (1) Definisikan klasifikasi fungsional jalan dan tentukan jalan perkotaan atau jalan antar kota
- (2) Pilih tingkat reliabilitas dari rentang yang diberikan pada Tabel 4.
- (3) Pilih deviasi standar (S_0) yang harus mewakili kondisi setempat. Rentang nilai S_0 adalah 0,35 – 0,45.

Tabel 4 - Deviasi normal standar (Z_R) untuk berbagai tingkat kepercayaan (R)

Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R	Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R	Tingkat Kepercayaan, R (%)	Deviasi Normal Standar, Z_R
50,00	-0,000	90,00	-1,282	96,00	-1,751
60,00	-0,253	91,00	-1,340	97,00	-1,881
70,00	-0,524	92,00	-1,405	98,00	-2,054
75,00	-0,674	93,00	-1,476	99,00	-2,327
80,00	-0,841	94,00	-1,555	99,90	-3,090
85,00	-1,037	95,00	-1,645	99,99	-3,750

5.3 Drainase

Salah satu tujuan utama dari perancangan perkerasan jalan adalah agar lapisan fondasi, fondasi bawah, dan tanah dasar terhindar dari pengaruh air, namun selama umur layan masuknya air pada perkerasan sulit untuk dihindari. Pada umumnya sumber air yang masuk ke dalam sistem perkerasan, baik melalui infiltrasi dari permukaan (misalnya melalui retakan di lapis permukaan), infiltrasi dari tepi perkerasan (misalnya dari parit atau bahu yang tidak kedap air) maupun dari muka air tanah melalui gaya kapiler dari tanah dasar. Ilustrasi sumber air yang masuk pada sistem perkerasan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 - Ilustrasi sumber air yang dapat masuk ke perkerasan (ERES-1999 dalam NCHRP-2004)

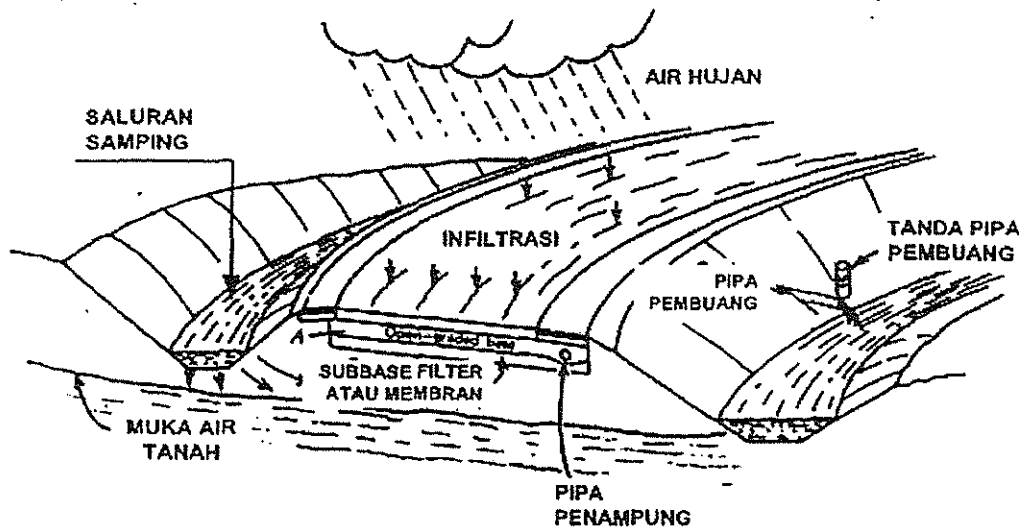
Air yang berlebihan dalam suatu struktur perkerasan akan berpengaruh negatif terhadap kinerja perkerasan jalan. Efek merugikan yang disebabkan oleh air pada perkerasan jalan (AASHTO, 1993) adalah:

- Air dipermukaan aspal dapat menyebabkan berubahnya kadar air, berkurangnya nilai modulus, dan hilangnya kekuatan tarik. Kejenuhan dapat mengurangi modulus aspal sebesar 30% atau lebih.
- Kadar air yang bertambah pada agregat *unbound* di lapisan *base* dan *subbase* harus diantisipasi karena akan menyebabkan hilangnya kekakuan sebesar 50% atau lebih.

- Pada lapisan *asphalt treated base* nilai modulus dapat berkurang sampai 30% atau lebih dan meningkatkan kerentanan terhadap erosi pada lapisan *cement treated base* atau *lime treated base*.
- Butiran tanah halus yang jenuh pada *roadbed soil* dapat mengalami pengurangan modulus lebih dari 50%

Untuk mengurangi masalah yang disebabkan oleh air adalah dengan melakukan perancangan yang baik, yaitu perancangan struktur perkerasan dengan dilengkapi perancangan drainasenya. Tujuan utamanya adalah menjaga agar lapisan fondasi, lapisan fondasi bawah dan tanah dasar terhindar dari kondisi jenuh.

Klasifikasi drainase pada perkerasan jalan lentur berdasarkan fungsinya adalah drainase permukaan (*surface drainage*) dan drainase bawah permukaan (*sub surface drainage*) seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Drainase bawah permukaan (*sub surface drainage*) dibagi menjadi tiga tipe, yaitu drainase penangkap (*intercepting drainage*), drainase tanah dasar (*subgrade drainage*) dan drainase lapis fondasi (*base drainage*). Contoh tipikal drainase bawah permukaan disajikan pada Lampiran D.



Gambar 3 – Contoh drainase permukaan dan bawah permukaan

Kualitas drainase lapis fondasi menurut AASHTO 1993 maupun NCHRP 1-37A adalah berdasarkan pada metoda *time-to-drain*. *Time-to-drain* adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem perkerasan untuk mengalirkan air dari keadaan jenuh sampai pada derajat kejenuhan 50%.

Nilai dari *time-to-drain* ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

$$t = T_{50} \times m_d \times 24$$

7

Keterangan:

t adalah *time-to-drain* (jam)

T_{50} adalah *time factor*

m_d adalah faktor yang berhubungan dengan porositas efektif, permeabilitas, resultan panjang serta tebal lapisan drainase.

Nilai *time factor* (T_{50}) ditentukan oleh geometri dari lapisan drainase. Geometri lapisan drainase terdiri atas resultan kemiringan (*resultant slope*, S_R), resultan panjang pengaliran (*resultant length*, L_R) dan ketebalan dari lapisan drainase. Ilustrasi dari geometri jalan disajikan pada Gambar 4. Nilai S_R dan L_R diperoleh berdasarkan pada panjang nyata dari lapisan drainase dan dihitung dengan menentukan terlebih dahulu kemiringan melintang (S_x) dan kemiringan memanjang (S).

Faktor-faktor geometri tersebut dipakai untuk menghitung nilai faktor kemiringan (*slope factor*, S_f) dengan persamaan berikut:

$$S_1 = \frac{L_R \times S_R}{H}$$

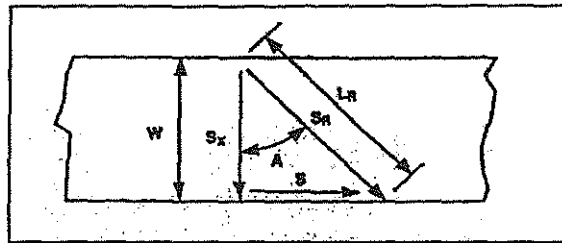
8

Keterangan:

S_R adalah $(S^2 + S_x^2)^{1/2}$

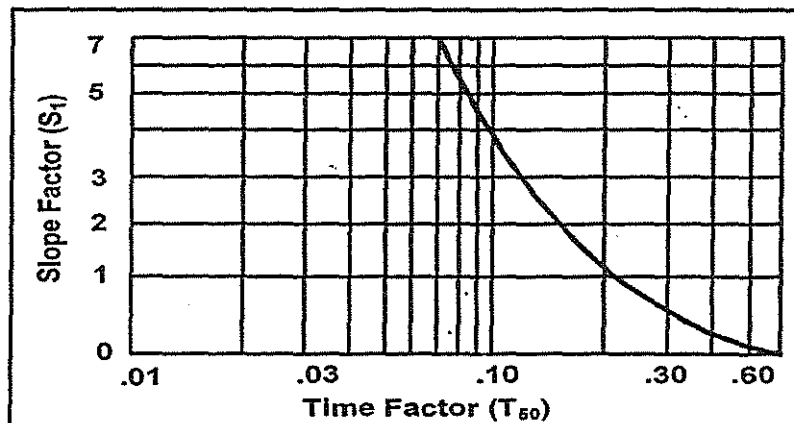
L_R adalah $W [1 + (S/S_x)^2]^{1/2}$

H adalah tebal dari lapisan permeabel (ft)



Gambar 4 - Geometri jalan (ERES-1999 dalam LRRB-2009)

Untuk menentukan nilai T digunakan suatu grafik T_{50} seperti pada Gambar 5, grafik ini hanya dapat digunakan untuk satu derajat kejenuhan saja yaitu derajat kejenuhan 50%.



Gambar 5 - Grafik *time factor* untuk derajat kejenuhan 50% (FHWA, 2006)

Nilai " m_d " pada Persamaan 7 dihitung dengan persamaan:

$$m_d = \frac{n_e L_R^2}{kH}$$

9

Keterangan:

n_e adalah porositas efektif lapisan drainase

k adalah permeabilitas lapisan drainase dalam *feet/hari* sesuai Persamaan 10 atau Gambar 6.

L_R adalah resultan panjang (*feet*)

H adalah tebal lapisan drainase dalam *feet*

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,478} \times n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}}$$

10

Keterangan:

k adalah permeabilitas lapisan drainase dalam *feet/hari*

P_{200} adalah berat agregat yang lolos ayakan no 200 dalam persen

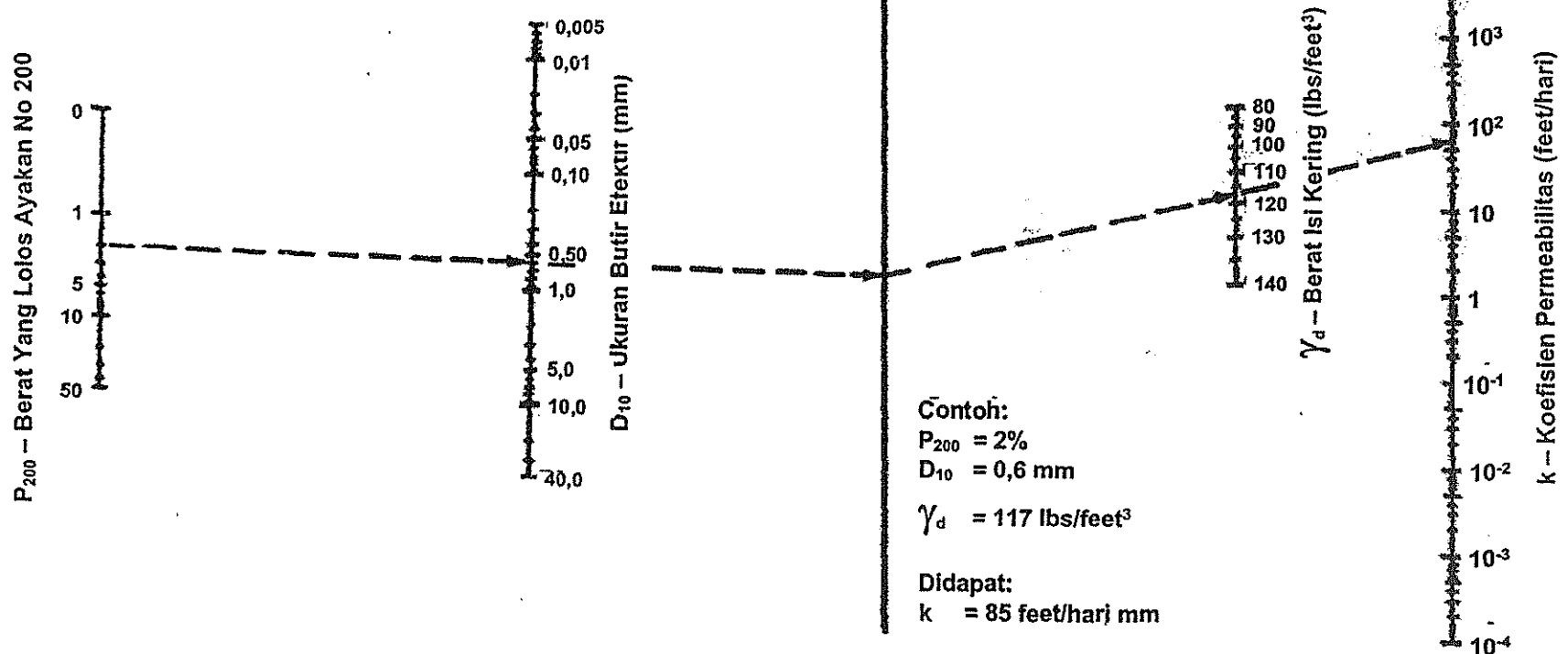
D_{10} adalah ukuran efektif atau ukuran butir agregat 10% berat lolos ayakan.

n adalah porositas material (tanpa satuan), nilai rasio dari volume relatif dan total volume.

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,473} \times \gamma_d^{0,654}}{P_{200}^{0,889}} \text{ (feet/hari)}$$

$$n = \text{porositas} = \left(1 - \frac{\gamma_d}{62,4 \times G}\right)$$

G = Berat jenis curah (bulk)
(Biasanya sekitar 2,5–2,7)



Gambar 6 - Grafik untuk mengestimasi koefisien permeabilitas drainase granural dan material filter (FHWA, 1990)

Persamaan untuk menentukan koefisien drainase yang akan digunakan, mencakup:

a) Menghitung porositas material.

$$n = 1 - \left(\frac{\gamma_d}{62,4 G} \right)$$

11

Keterangan:

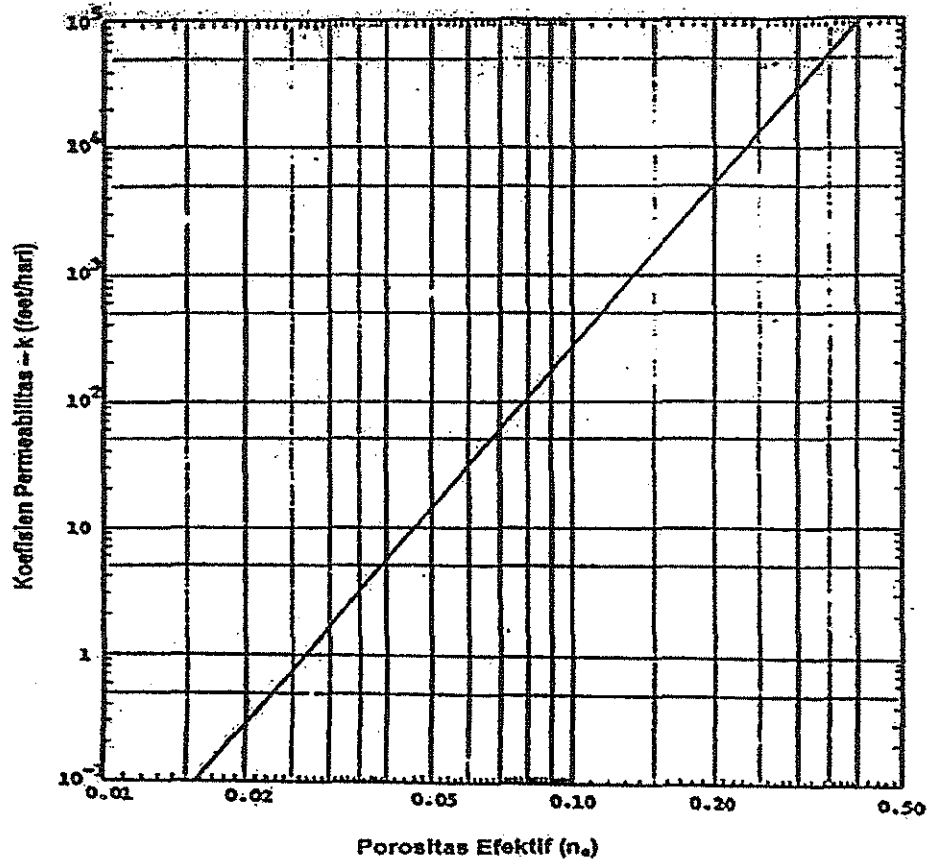
n adalah porositas material (tanpa satuan), nilai rasio dari volume relatif dan total volume.

γ_d adalah kepadatan kering dalam lb/ft³

G adalah berat jenis curah (*bulk*), biasanya sekitar 2,5--2,7

b) Menghitung porositas efektif lapisan drainase.

Nilai porositas efektif (n_e) dapat menggunakan Gambar 7.



Gambar 7 - Grafik untuk menetapkan porositas efektif, n_e (FHWA, 1990)

c) Menghitung resultan kemiringan (*slope resultant*).

$$S_R = (S^2 + S_X^2)^{1/2}$$

12

Keterangan:

S_R adalah resultan kemiringan (%)

S adalah kemiringan memanjang lapisan drainase (%)

S_X adalah kemiringan melintang lapisan drainase (%)

d) Menghitung resultan panjang (*length resultant*)

$$L_R = W [1 + (S/S_X)^2]^{1/2}$$

13

Keterangan:

L_R adalah resultan panjang (*feet*)

W adalah lebar lapisan drainase (*feet*)

S adalah kemiringan memanjang lapisan drainase (%)

S_x adalah kemiringan melintang lapisan drainase (%)

- e) Persamaan untuk menghitung *slope factor* (S_1) digunakan Persamaan 8
- f) Persamaan untuk menghitung faktor " m_d " digunakan Persamaan 9
- g) Persamaan untuk menghitung nilai *Time-to-drain* digunakan Persamaan 7

Langkah-langkah untuk menghitung nilai koefisien drainase (m) adalah sebagai berikut:

- Hitung nilai koefisien permeabilitas (k) dengan menggunakan Persamaan 10 atau Gambar 6.
- Hitung nilai porositas material (n) dengan menggunakan Persamaan 11.
- Hitung nilai porositas efektif lapisan drainase (n_e) dengan Gambar 6.
- Hitung resultan kemiringan (*slope resultant*, S_R) dengan menggunakan Persamaan 12.
- Hitung resultan panjang (*length resultant*, L_R) dengan menggunakan Persamaan 13.
- Hitung faktor kemiringan (*slope factor*, (S_1)) dengan menggunakan Persamaan 8.
- Tentukan nilai *time factor* dengan derajat kejenuhan 50% (T_{50}) dari hasil perhitungan S_1 berdasarkan pada Gambar 5.
- Hitung faktor " m_d " dengan menggunakan Persamaan 9.
- Hitung nilai *Time-to-drain* (t) dengan menggunakan Persamaan 7.
- Dari nilai t yang diperoleh kemudian tentukan kualitas drainase dengan mengacu pada Tabel 5.
- Nilai koefisien drainase m yang akan digunakan dalam perancangan ditentukan dari kualitas drainase hasil perhitungan diatas dan perkiraan persen waktu perkerasan yang dipengaruhi oleh air mendekati kondisi jenuh sesuai dengan Tabel 6.

Tahapan perhitungan dalam penentuan koefisien drainase pada perkerasan lentur disajikan pada Gambar 8.

Koefisien drainase untuk mengakomodasi kualitas sistem drainase yang dimiliki perkerasan jalan dan definisi umum mengenai kualitas drainase disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 - 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

Sumber: AASHTO 1993

Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perancangan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Faktor untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif ini adalah koefisien drainase (m) dan disertakan ke dalam persamaan Nilai Struktural (*Structural Number*, SN) bersama-sama dengan koefisien kekuatan relatif (a) dan ketebalan (D).

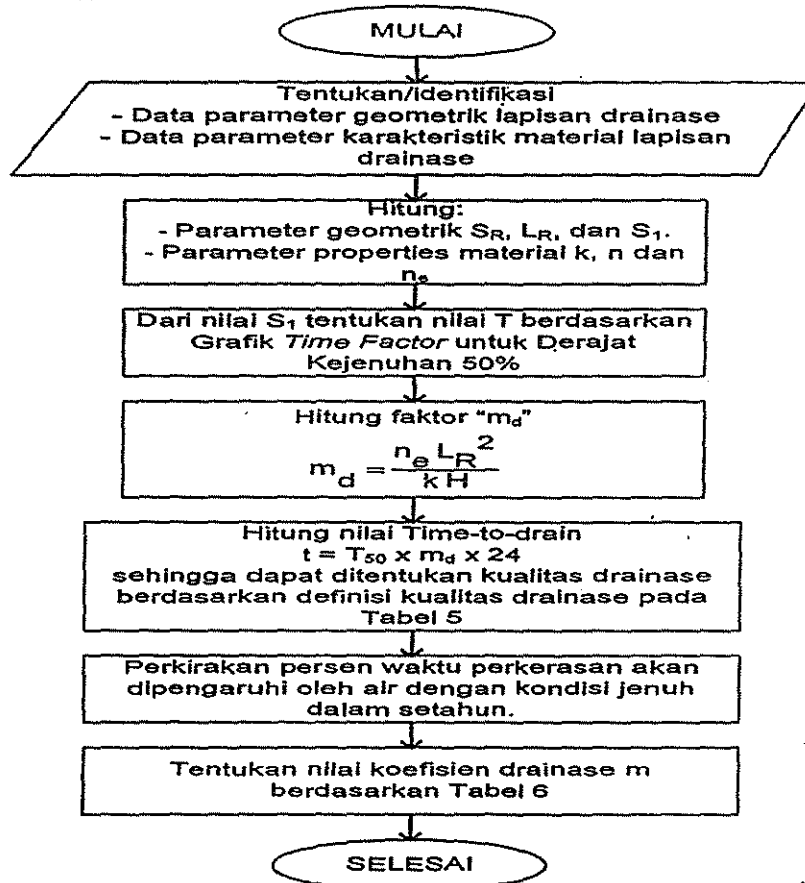
Tabel 6 memperlihatkan nilai koefisien drainase (m) yang merupakan fungsi dari kualitas drainase dan persen waktu selama setahun struktur perkerasan akan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh.

Penilaian koefisien drainase (m) dapat juga menggunakan pendekatan berdasarkan kondisi lapangan, terutama untuk perancangan rekonstruksi perkerasan lentur yang ada (Indonesia *Infrastructure Initiative*, 2011), yaitu seperti disajikan pada Lampiran B.

Tabel 6 - Koefisien drainase (m) untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif material *untreated base* dan *subbase*

Kualitas drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	< 1 %	1-5 %	5-25 %	> 25 %
Baik sekali	1,40-1,35	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	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Sumber: AASHTO 1993



Gambar 8 - Bagan alir penentuan koefisien drainase pada perkerasan lentur

5.4 Kinerja perkerasan

Pada metode ini tingkat pelayanan perkerasan dinyatakan dengan "indeks pelayanan (IP) saat ini" (*present serviceability index, PSI*), yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran ketidakrataan (*roughness*) dan kerusakan (alur, retak dan tambalan). Nilai PSI berkisar antara 0 sampai 5, nilai lima menunjukkan bahwa perkerasan mempunyai kondisi yang ideal (paling baik), sedangkan nilai nol menunjukkan bahwa perkerasan tidak dapat dilalui kendaraan. Untuk keperluan perancangan, diperlukan penentuan indeks pelayanan awal dan indeks pelayanan akhir.

Indeks pelayanan awal (IP_0) diperoleh berdasarkan perkiraan pengguna jalan terhadap kondisi perkerasan yang selesai dibangun. Pada *AASHTO Road Test*, indeks pelayanan awal yang digunakan untuk perkerasan lentur adalah 4,2. Karena adanya variasi metode pelaksanaan dan standar bahan, indeks pelayanan awal sebaiknya ditetapkan menurut

kondisi setempat. Indeks pelayanan akhir (IP_t) merupakan tingkat pelayanan terendah yang masih dapat diterima sebelum perkerasan perlu diperkuat atau direkonstruksi. Untuk jalan-jalan utama, indeks pelayanan akhir yang sebaiknya digunakan minimum 2,5; sedangkan untuk jalan-jalan yang kelasnya lebih rendah dapat digunakan 2,0.

Dalam menentukan indeks pelayanan perkerasan lentur pada akhir umur rencana (IP_t), perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 7.

Dalam menentukan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0), perlu diperhatikan jenis lapis permukaan perkerasan lentur pada awal umur rencana. Pada Tabel 8 disajikan indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) untuk beberapa jenis lapis perkerasan.

Tabel 7 - Indeks pelayanan perkerasan lentur pada akhir umur rencana (IP_t)

Klasifikasi Jalan	Indeks Pelayanan Perkerasan Akhir Umur Rencana (IP_t)
Bebas hambatan	$\geq 2,5$
Arteri	$\geq 2,5$
Kolektor	$\geq 2,0$

Tabel 8 - Indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0)

Jenis Lapis Perkerasan	IP_0
Lapis Beton Aspal (Laston/AC) dan Lapis Beton Aspal Modifikasi (Laston Modifikasi/AC-Mod)	≥ 4
Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston/HRS)	≥ 4

5.5 Daya dukung tanah dasar

Karakteristik bahan perkerasan pada pedoman ini ditetapkan berdasarkan modulus elastis atau modulus resilien. Untuk tanah dasar, modulus resilien harus ditentukan melalui pengujian di laboratorium (menurut AASHTO T 274) terhadap contoh yang representatif pada tekanan dan kondisi kadar air yang mencerminkan tekanan dan kadar air di lapangan.

Penentuan nilai modulus resilien untuk setiap titik pengujian dapat didekati dengan pengujian CBR, yaitu menggunakan Persamaan 14. Nilai CBR atau Modulus resilien (M_R) tanah dasar yang mewakili suatu titik pengujian adalah yang mewakili untuk kedalaman 100 cm serta cara untuk menentukan nilai CBR rata-rata pada setiap titik pengujian adalah mengacu pada *Austroad, Guide to Pavement Technology*, 2010 yang didasarkan pada daya dukung tanah menurut *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement-Japan Road Association, JRA (1980)*, yaitu:

✓ CBR titik

$$CBR_R = \left(\frac{\sum_i^n h_i CBR_i^{1/3}}{\sum_i h_i} \right)^3 \quad 14$$

Keterangan:

CBR_R adalah CBR rata-rata

CBR_i adalah nilai CBR pada setiap lapisan i

h_i adalah tebal tiap-tiap lapisan i

Persyaratan penggunaan Persamaan 14 memiliki kondisi sebagai berikut:

- Ketebalan lapisan yang kurang dari 200 mm harus digabungkan dengan lapisan yang berdekatan. Nilai CBR yang lebih rendah harus diadopsi untuk lapisan gabungan ini.
- Diasumsikan bahwa semakin ke atas, lapisan yang digunakan memiliki nilai CBR yang lebih tinggi, persamaan ini tidak berlaku apabila lapisan yang lebih lemah ditempatkan pada bagian atas dari lapis fondasi bawah.
- Apabila terdapat lapisan filter, lapisan ini tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.
- Nilai CBR maksimum penggunaan persamaan ini adalah 15%.

✓ CBR segmen jalan

Jalan dalam arah memanjang cukup panjang dibandingkan dengan jalan dengan arah melintang. Jalan tersebut dapat saja melintasi jenis tanah dan keadaan medan yang berbeda-beda. Kekuatan tanah dasar dapat bervariasi antara nilai yang baik dan yang jelek. Dengan demikian akan tidak ekonomis jika perancangan tebal lapisan perkerasan jalan berdasarkan nilai yang terjelek dan tidak pula memenuhi syarat jika berdasarkan hanya nilai terbesar saja. Jadi segmen jalan adalah bagian dari panjang jalan yang mempunyai daya dukung tanah, sifat tanah, dan keadaan lingkungan yang relatif sama.

Setiap segmen mempunyai satu nilai CBR yang mewakili daya dukung tanah dasar dan digunakan untuk perancangan tebal lapisan perkerasan dari segmen tersebut. Nilai CBR segmen dapat ditentukan dengan mempergunakan cara analitis sesuai *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement-Japan Road Association, JRA (1980)*, yaitu seperti disajikan pada persamaan dibawah ini.

$$CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - \frac{CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}}{F} \quad 15$$

Keterangan:

- CBR_{segmen} adalah nilai CBR yang mewakili pada segmen yang ditinjau
 CBR_{maksimum} adalah nilai CBR tertinggi pada sepanjang segmen yang ditinjau
 CBR_{minimum} adalah nilai CBR terendah pada sepanjang segmen yang ditinjau
 $CBR_{\text{rata-rata}}$ adalah nilai CBR rata-rata pada sepanjang segmen yang ditinjau
 F adalah koefisien yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 - Nilai F untuk perhitungan CBR_{segmen}

Jumlah titik pengamatan (buah)	Koefisien F
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
≥10	3,18

CBR_{segmen} atau CBR_{rencana} yang diperoleh, kemudian dikonversikan ke modulus resilien sesuai Persamaan 1 atau 2.

5.6 Koefisien kekuatan relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif bahan jalan, baik campuran beraspal sebagai lapis permukaan (lapis aus dan lapis permukaan antara), lapis fondasi serta lapis fondasi bawah disajikan pada Tabel 10. Apabila ada bahan perkerasan baru atau pembina jalan dan perancang menetapkan kekuatan bahan minimum berbeda dengan Tabel 10, maka nilai kekuatan

bahan (a) dapat menggunakan referensi seperti pada Gambar C.1 sampai dengan Gambar C.6 pada Lampiran C.

Tabel 10 - Koefisien kekuatan relatif bahan jalan (a)

Jenis Bahan	Kekuatan bahan						Koefisien Kekuatan Relatif		
	Modulus Elastis		Stabilitas Marshall (kg)	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	ITS (kPa)	CBR (%)	a ₁	a ₂	a ₃
	(MPa)	(x1000 psi)							
1. Lapis Permukaan									
Laston Modifikasi ¹									
- Lapis Aus Modifikasi	3.200 ⁽⁵⁾	460	1000				0,414		
- Lapis Antara Modifikasi	3.500 ⁽⁵⁾	508	1000				0,360		
Laston									
- Lapis Aus	3.000 ⁽⁵⁾	435	800				0,400		
- Lapis Antara	3.200 ⁽⁶⁾	464	800				0,344		
Lataston									
- Lapis Aus	2.300 ⁽⁵⁾	340	800				0,350		
2. Lapis Fondasi									
Lapis Fondasi Laston Modifikasi ¹	3.700 ⁽⁵⁾	536	2250 ⁽²⁾					0,305	
Lapis Fondasi Laston	3.300 ⁽⁵⁾	480	1800 ⁽²⁾					0,290	
Lapis Fondasi Lataston	2.400 ⁽⁵⁾	350	800						
Lapis Fondasi LAPEN								0,190	
CMRFB (<i>Cold Mix Recycling Foam Bitumen</i>)					300			0,270	
Beton Padat Giling (BPG/RCC)	5.900	850		70 ⁽³⁾				0,230	
CTB	5.350	776		45				0,210	
CTRB (<i>Cement Treated Recycling Base</i>)	4.450	645		35				0,170	
CTSB (<i>Cement Treated Subbase</i>)	4.450	645		35				0,170	
CTRSB (<i>Cement Treated Recycling Subbase</i>)	4.270	619		30				0,160	
Tanah Semen	4.000	580		24 ⁽⁴⁾				0,145	
Tanah Kapur	3.900	566		20 ⁽⁴⁾				0,140	
Agregat Kelas A	200	29				90		0,135	
3. Lapis Fondasi Bawah									
Agregat Kelas B	125	18				60		0,125	
Agregat Kelas C	103	15				35		0,112	
Konstruksi Telford									
- Pemadatan Mekanis						52		0,104	
- Pemadatan Manual						32		0,074	
Material Pilihan (<i>Selected material</i>)	84	12				10		0,080	

Keterangan :

¹⁾ Campuran beraspal panas yang menggunakan bahan pengikat aspal modifikasi atau *modified asphalt* (seperti aspal polimer, aspal yang dimodifikasi asbuton, multigrade, aspal pen 40 dan aspal pen 60 dengan aditif campuran seperti asbuton butir), termasuk asbuton campuran panas.

²⁾ Diameter benda uji 6 inci

³⁾ Kuat tekan beton untuk umur 28 hari

⁴⁾ Kuat tekan bebas umur 7 hari dan diameter 7 cm

⁵⁾ Pengujian modulus elastis menggunakan alat UMATTA pada temperatur 25°C, beban 2500 N dan *rise time* 60 ms serta pembuatan benda uji dikondisikan sesuai AASHTO Designation: R 30-02 (2006).

ITS : *Indirect Tensile Strength* (kuat tarik tidak langsung).

5.7 Pemilihan tipe lapisan beraspal

Tipe lapisan beraspal yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan kondisi jalan yang akan ditingkatkan, yaitu sesuai dengan lalu lintas rencana serta kecepatan kendaraan (terutama kendaraan truk). Pada Tabel 11 disajikan pemilihan tipe lapisan beraspal sesuai lalu lintas rencana dan kecepatan kendaraan.

Tabel 11 - Pemilihan tipe lapisan beraspal berdasarkan lalu lintas rencana dan kecepatan kendaraan

Lalu lintas Rencana (juta)	Tipe Lapisan Beraspal	
	Kecepatan Kendaraan; 20 – 70 km/jam	Kecepatan Kendaraan; ≥ 70 km/jam
< 0,3	Perancangan perkerasan lentur untuk lalu lintas rendah	
0,3--10	Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston/HRS)	Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston/HRS)
10--30	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)
≥ 30	Lapis Beton Aspal Modifikasi (Laston Mod/AC-Mod)	Lapis Beton Aspal (Laston/AC)

Catatan: untuk lokasi setempat-setempat dengan kecepatan kendaraan < 20 km/jam sebaiknya menggunakan perkerasan kaku

5.8 Ketebalan minimum lapisan perkerasan

Pada saat menentukan tebal lapis perkerasan, perlu dipertimbangkan keefektifannya dari segi biaya, pelaksanaan konstruksi, dan batasan pemeliharaan untuk menghindari kemungkinan dihasilkannya perancangan yang tidak praktis. Pada Tabel 12 disajikan tebal minimum untuk lapis permukaan, lapis fondasi dan lapis fondasi bawah.

Tabel 12 - Tebal minimum lapisan perkerasan

Jenis Bahan	Tebal Minimum	
	(inci)	(cm)
1. Lapis Permukaan		
Laston Modifikasi		
- Lapis Aus Mod	1,6	4,0
- Lapis Antara Mod	2,4	6,0
Laston		
- Lapis Aus	1,6	4,0
- Lapis Antara	2,4	6,0
Lataston		
- Lapis Aus	1,2	3,0
2. Lapis Fondasi		
Lapis Fondasi Laston Modifikasi	2,9	7,5
Lapis Fondasi Laston	2,9	7,5
Lapis Fondasi Lataston	1,4	3,5
Lapis Fondasi LAPEN	2,5	6,5
Agregat Kelas A	4,0	10,0
CTB (<i>Cement Treated Base</i>)	6,0	15,0
CTRB (<i>Cement Treated Recycling Base</i>)	6,0	15,0
CMRFB (<i>Cold Mix Recycling Foam Bitumen</i>)	6,0	15,0
CTSB (<i>Cement Treated Subbase</i>)	6,0	15,0

Tabel 13(Lanjutan) - Tebal minimum lapisan perkerasan

Jenis Bahan	Tebal Minimum	
	(inci)	(cm)
CTRSB (<i>Cement Treated Recycling Subbase</i>)	6,0	15,0
Beton Padat Giling (BPG/RCC)	6,0	15,0
Beton Kurus (CBK) atau <i>Lean-Mix Concrete</i> (LC)	6,0	15,0
Tanah Semen	6,0	15,0
Tanah Kapur	6,0	15,0
3. Lapis Fondasi.Bawah		
Agregat Kelas B	6,0	15,0
Agregat Kelas C	6,0	15,0
Konstruksi <i>Telford</i>	6,0	15,0
Material Pilihan (<i>Selected material</i>)	6,0	15,0

6 Prosedur perancangan perkerasan lentur

6.1 Umum

Metode ini ditujukan untuk perancangan perkerasan lentur yang baru atau rekonstruksi perkerasan lama serta memberikan kesempatan kepada perancang dalam memilih alternatif perancangan yang paling optimum.

Konsep kinerja perkerasan yang berlaku saat ini mencakup peninjauan terhadap kinerja fungsional, kinerja struktural dan keselamatan. Meskipun demikian, pada metode ini hanya dicakup kinerja fungsional dan kinerja struktural.

Kinerja struktural perkerasan berkaitan dengan kondisi fisik yang ditunjukkan oleh keberadaan retak, pelepasan butir atau cacat lain yang menurunkan daya dukung perkerasan atau menuntut pemeliharaan; sedangkan kinerja fungsional menyangkut tingkat pelayanan yang dapat diberikan perkerasan kepada para penggunanya. Pada konteks tersebut, kenyamanan pengguna jalan merupakan karakteristik dominan daripada kinerja fungsional.

6.2 Penentuan nilai struktural yang diperlukan

1) Persamaan dasar

Untuk suatu kondisi tertentu, penentuan nilai struktural perkerasan lentur (Indeks Tebal Perkerasan, SN) dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 16 atau Gambar 10.

$$\log(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log(M_R) - 8,07 \quad 16$$

Sesuai dengan persamaan di atas, penentuan nilai struktural mencakup penentuan besaran-besaran sebagai berikut:

W_{18} (W_0) adalah akumulasi ekuivalen beban sumbu standar pada lajur rencana selama umur rencana.

Z_R adalah deviasi normal standar sebagai fungsi dari tingkat kepercayaan (R), yaitu dengan menganggap bahwa semua parameter masukan yang digunakan adalah nilai rata-ratanya.

S_0 adalah gabungan *standard error* untuk perkiraan lalu lintas dan kinerja.

- ΔIP adalah perbedaan antara indeks pelayanan pada awal umur rencana (IP_0) dengan indeks pelayanan pada akhir umur rencana (IP_t).
- M_R adalah modulus resilien tanah dasar efektif (psi).
- IP_f adalah indeks pelayanan jalan hancur (minimum 1,5)

2) Estimasi lalu lintas

Untuk mengestimasi volume kumulatif lalu lintas selama umur rencana (W_{18}) adalah sesuai dengan prosedur yang diuraikan pada Butir 5.1.

3) Tingkat kepercayaan dan pengaruh drainase

Untuk menetapkan tingkat kepercayaan atau reabilitas dalam proses perancangan dan pengaruh drainase, maka berturut-turut dapat mengacu pada Butir 5.2 dan Butir 5.3.

4) Modulus resilien tanah dasar efektif

Untuk menentukan modulus resilien akibat variasi musim, dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium dan pengujian CBR lapangan (sesuai Butir 5.5), kemudian dikorelasikan dengan nilai modulus resilien sesuai Persamaan 1 atau 2.

5) Pemilihan tebal lapisan

Perhitungan perancangan tebal perkerasan dalam pedoman ini didasarkan pada kekuatan relatif setiap lapisan perkerasan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$SN = a_{1-1} \times D_{1-1} + a_{1-2} \times D_{1-2} + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad 17$$

Keterangan:

a_{1-1} , a_{1-2} , a_2 , a_3 adalah koefisien kekuatan relatif lapis aus, lapis antara, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah sesuai Tabel 10).

D_{1-1} , D_{1-2} , D_2 , D_3 adalah tebal lapis aus, lapis antara, lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah (inchi) dan tebal minimum untuk setiap jenis bahan sesuai Tabel 12.

m_2 , m_3 adalah koefisien drainase lapis fondasi atas dan lapis fondasi bawah sesuai Tabel 6.

Angka 1-1, 1-2, 2, dan 3, masing-masing untuk lapis aus, lapis antara, lapis fondasi, dan lapis fondasi bawah.

6) Analisis perancangan tebal lapisan

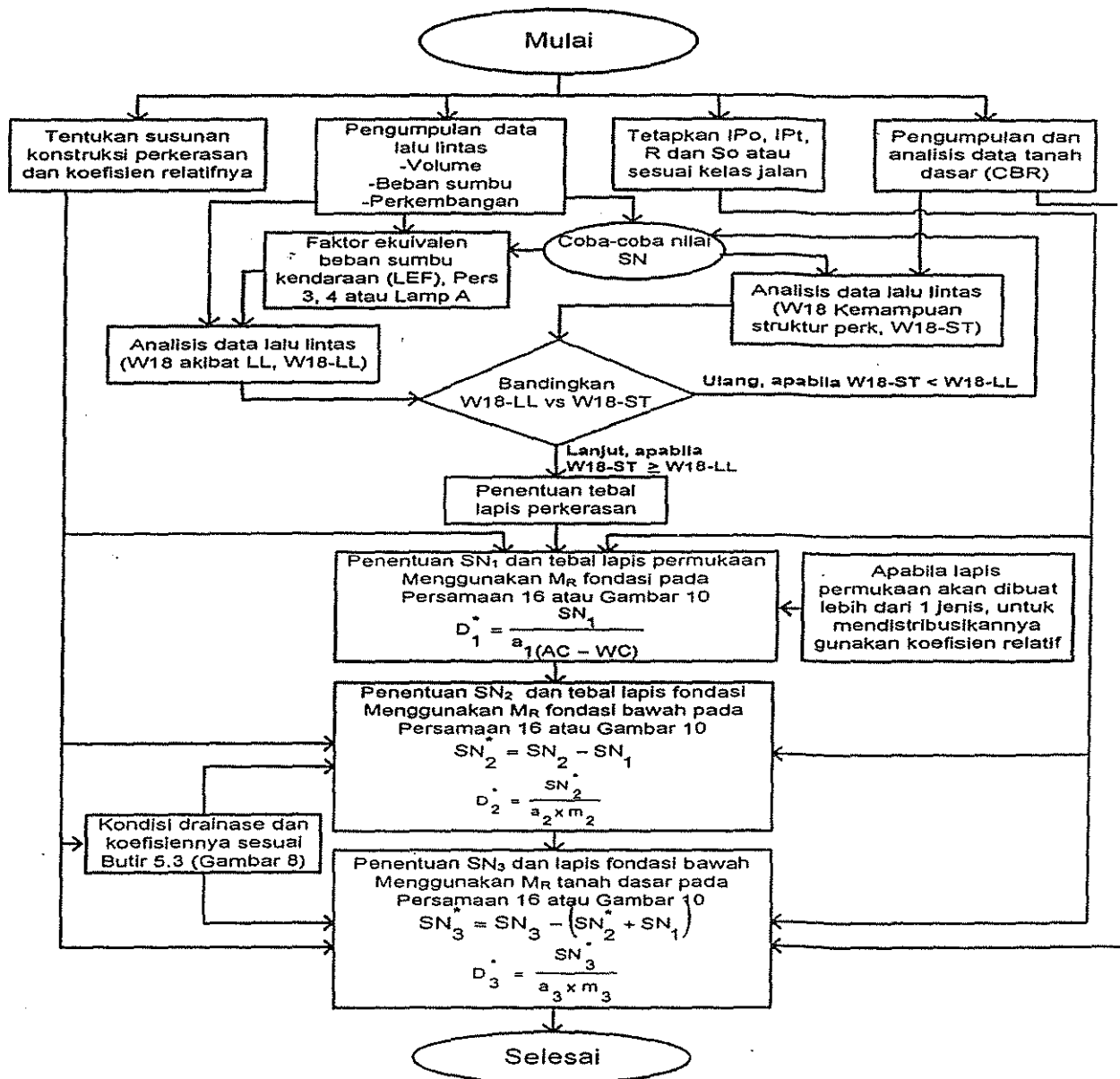
Perlu dipahami bahwa untuk perkerasan lentur, struktur perkerasan terdiri atas beberapa lapisan bahan yang perlu dirancang dengan seksama. Struktur perkerasan hendaknya dirancang menurut prinsip yang ditunjukkan pada Gambar 11. Tahapan perhitungan adalah sebagai berikut:

- Tetapkan umur rencana perkerasan dan jumlah lajur lalu lintas yang akan dibangun.
- Tetapkan indeks pelayanan akhir (IP_t) dan susunan struktur perkerasan rancangan yang diinginkan.
- Hitung CBR tanah dasar yang mewakili segmen, kemudian hitung modulus reaksi tanah dasar efektif (M_R) dengan menggunakan Persamaan 1 atau 2.
- Hitung lalu lintas rencana selama umur rencana yang telah ditetapkan, yaitu berdasarkan volume, beban sumbu setiap kelas kendaraan, perkembangan lalu lintas. Untuk menganalisis lalu lintas selama umur rencana diperlukan coba-coba nilai SN dengan indeks pelayanan akhir (IP_t) yang telah dipilih. Hasil iterasi selesai apabila prediksi lalu lintas rencana relatif sama dengan (sedikit dibawah) kemampuan konstruksi perkerasan rencana yang diinterpretasikan dengan lalu lintas, yaitu dengan menggunakan Persamaan 16 atau Gambar 10.
- Tahap berikutnya adalah menentukan nilai struktural seluruh lapis perkerasan di atas tanah dasar. Dengan cara yang sama, selanjutnya menghitung nilai struktural bagian

perkerasan di atas lapis fondasi bawah dan di atas lapis fondasi atas, dengan menggunakan kekuatan lapis fondasi bawah dan lapis fondasi atas. Dengan menyelisihkan hasil perhitungan nilai struktural yang diperlukan di atas setiap lapisan, maka tebal maksimum yang diizinkan untuk suatu lapisan dapat dihitung. Contoh, nilai struktural maksimum yang diizinkan untuk lapis fondasi bawah akan sama dengan nilai struktural perkerasan di atas tanah dasar dikurangi dengan nilai bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah. Dengan cara yang sama, maka nilai struktural lapisan yang lain dapat ditentukan. Tebal setiap lapisan selanjutnya dapat ditentukan dengan cara yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Tahapan perhitungan tebal perkerasan lentur dapat juga dilihat pada Gambar 9.

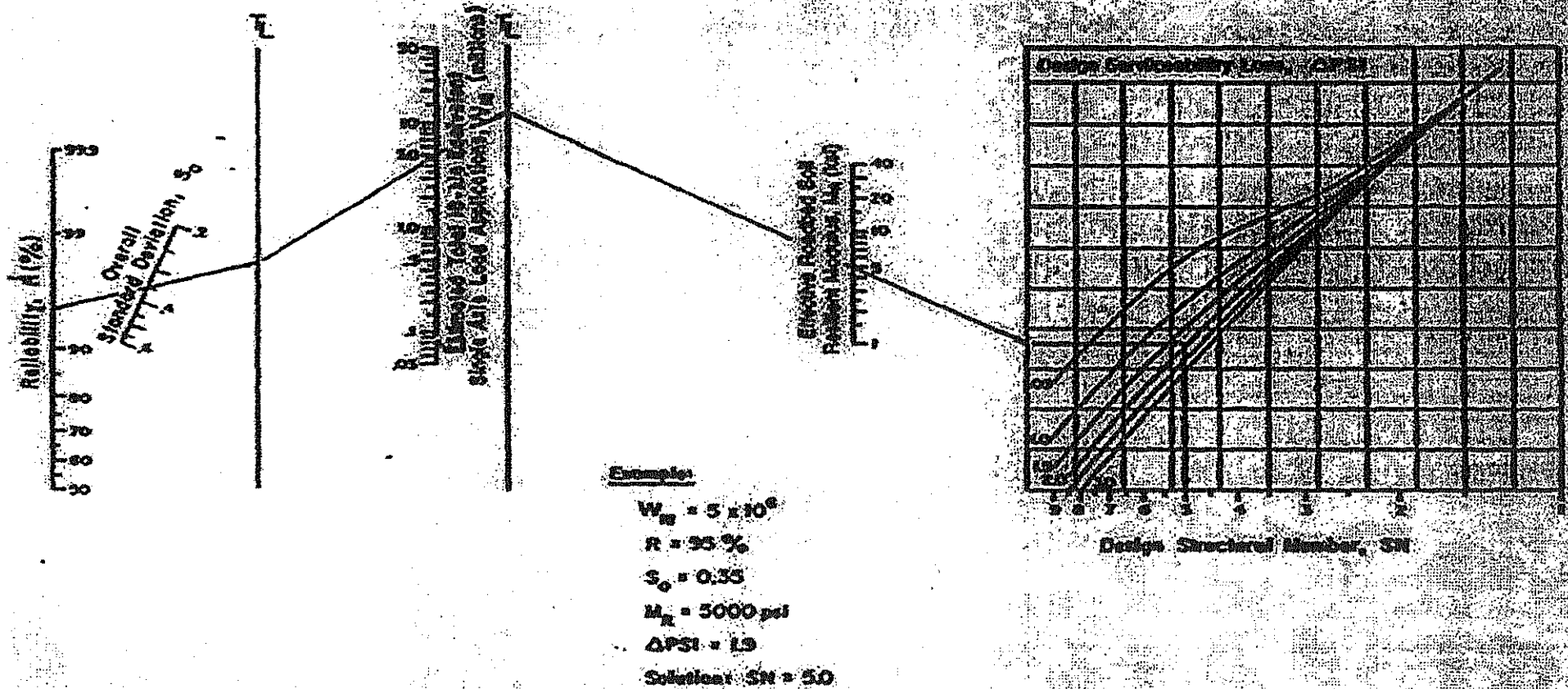
Perlu diperhatikan bahwa prosedur tersebut hendaknya tidak digunakan untuk menentukan nilai struktural yang dibutuhkan oleh bagian perkerasan yang terletak di atas lapis fondasi bawah atau lapis fondasi atas dengan modulus resilien lebih dari 40.000 psi atau sekitar 270 MPa. Untuk kasus tersebut, tebal lapis perkerasan di atas lapisan yang mempunyai modulus elastis tinggi harus ditentukan berdasarkan pertimbangan efektivitas biaya serta tebal minimum yang praktis.



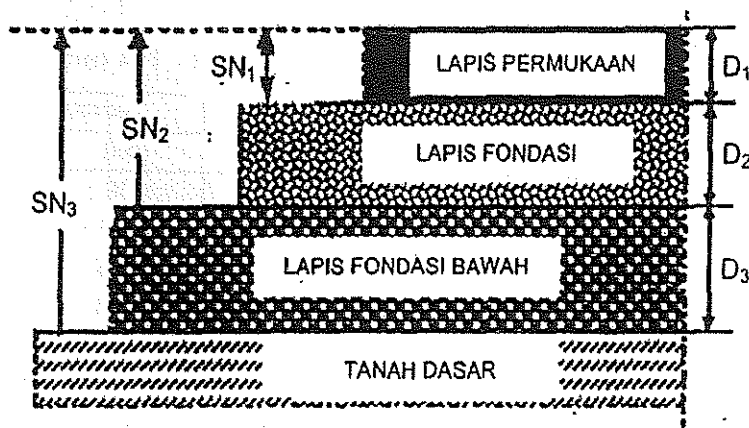
Gambar 9 - Bagan alir perhitungan tebal perkerasan lentur

NOMOGRAPH SOLUTION:

$$\log_{10} \frac{W}{18} = 1.8 S_o + 9.36 \log_{10} (\text{SN}) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(\text{SN})^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} R - 8.07$$



Gambar 10 - Nomogram untuk perancangan tebal perkerasan lentur



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

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

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

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

- 1) a, D, m dan SN merupakan nilai-nilai minimum yang diperlukan.
- 2) D* atau SN* menunjukkan bahwa parameter tersebut mewakili nilai yang sebenarnya digunakan, yang harus sama dengan atau lebih besar dari nilai yang diperlukan

Gambar 11 - Prosedur untuk menentukan tebal lapisan melalui pendekatan analisis lapisan

Lampiran A
(normatif)
Faktor Ekuivalen Beban

Tabel A.1 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu tunggal dan $IP_t = 2$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	1816	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
6	2724	0,009	0,012	0,011	0,010	0,009	0,009
8	3632	0,030	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
10	4540	0,075	0,085	0,090	0,085	0,079	0,076
12	5448	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
14	6356	0,325	0,338	0,354	0,350	0,338	0,331
16	7264	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
22	9988	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
24	10896	3,71	3,62	3,43	3,33	3,40	3,51
26	11804	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
28	12712	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
30	13620	10,4	10,0	9,2	8,6	8,7	9,2
32	14528	14,0	13,5	12,4	11,5	11,5	12,1
34	15436	18,5	17,9	16,3	15,0	14,9	15,6
36	16344	24,2	23,3	21,2	19,3	19,0	19,9
38	17252	31,1	29,9	27,1	24,6	24,0	25,1
40	18160	39,6	38,0	34,3	30,9	30,0	31,2
42	19068	49,7	47,7	43,0	38,6	37,2	38,5
44	19976	61,8	59,3	53,4	47,6	45,7	47,1
46	20884	76,1	73,0	65,6	58,3	55,7	57,0
48	21792	92,9	89,1	80,0	70,9	67,3	68,6
50	22700	113,0	108,0	97,0	86,0	81,0	82,0

Tabel A.2 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $IP_1 = 2$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
6	2724	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	3632	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
10	4540	0,007	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006
12	5448	0,013	0,016	0,016	0,014	0,013	0,012
14	6356	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
16	7264	0,041	0,048	0,050	0,046	0,042	0,040
18	8172	0,066	0,077	0,081	0,075	0,069	0,066
20	9080	0,103	0,117	0,124	0,117	0,109	0,105
22	9988	0,156	0,171	0,183	0,174	0,164	0,158
24	10896	0,227	0,244	0,260	0,252	0,239	0,231
26	11804	0,322	0,340	0,360	0,353	0,338	0,329
28	12712	0,447	0,465	0,487	0,481	0,466	0,455
30	13620	0,607	0,623	0,646	0,643	0,627	0,617
32	14528	0,810	0,823	0,843	0,842	0,829	0,819
34	15436	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,76	1,75	1,73	1,72	1,73	1,74
40	18160	2,22	2,19	2,15	2,13	2,16	2,18
42	19068	2,77	2,37	2,64	2,62	2,66	2,70
44	19976	3,42	3,36	3,23	3,18	3,24	3,31
46	20884	4,20	4,11	3,92	3,83	3,91	4,02
48	21792	5,10	4,98	4,72	4,58	4,68	4,83
50	22700	6,15	5,99	5,64	5,44	5,56	5,77
52	23608	7,37	7,16	6,71	6,43	6,56	6,83
54	24516	8,77	8,51	7,93	7,55	7,69	8,03
56	25424	10,4	10,1	9,3	8,8	9,0	9,4
58	26332	12,2	11,8	10,9	10,3	10,4	10,9
60	27240	14,3	13,8	12,7	11,9	12,0	12,6
62	28148	16,6	16,0	14,7	13,7	13,8	14,5
64	29056	19,3	18,6	17,0	15,8	15,8	16,6
66	29964	22,2	21,4	19,6	18,0	18,0	18,9
68	30872	25,5	24,6	22,4	20,6	20,5	21,5
70	31780	29,2	28,1	25,6	23,4	23,2	24,3
72	32688	33,3	32,0	29,1	26,5	26,2	27,4
74	33596	37,8	36,4	33,0	30,0	29,4	30,8
76	34504	42,8	41,2	37,3	33,8	33,1	34,5
78	35412	48,4	46,5	42,0	38,0	37,0	38,6
80	36320	54,4	52,3	47,2	42,5	41,3	43,0
82	37228	61,1	58,7	52,9	47,6	46,0	47,8
84	38136	68,4	65,7	59,2	53,0	51,2	53,0
86	39044	76,3	73,3	66,0	59,0	56,8	58,6
88	39952	85,0	81,6	73,4	65,5	62,8	64,7
90	40860	94,4	90,6	81,5	72,6	69,4	71,3

Tabel A.3 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan $IP_1 = 2$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
6	2724	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8	3632	0,0009	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007
10	4540	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
12	5448	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
14	6356	0,006	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005
16	7264	0,010	0,012	0,012	0,010	0,009	0,009
18	8172	0,016	0,019	0,019	0,017	0,015	0,015
20	9080	0,024	0,029	0,029	0,026	0,024	0,023
22	9988	0,034	0,042	0,042	0,038	0,035	0,034
24	10896	0,049	0,058	0,060	0,055	0,051	0,048
26	11804	0,068	0,080	0,083	0,077	0,071	0,068
28	12712	0,093	0,107	0,113	0,105	0,098	0,094
30	13620	0,125	0,140	0,149	0,140	0,131	0,126
32	14528	0,164	0,182	0,194	0,184	0,173	0,167
34	15436	0,213	0,233	0,248	0,238	0,225	0,217
36	16344	0,273	0,294	0,313	0,303	0,288	0,279
38	17252	0,346	0,368	0,390	0,381	0,364	0,353
40	18160	0,434	0,456	0,481	0,473	0,454	0,443
42	19068	0,538	0,560	0,587	0,580	0,561	0,548
44	19976	0,662	0,682	0,710	0,705	0,686	0,673
46	20884	0,807	0,825	0,852	0,849	0,831	0,818
48	21792	0,976	0,992	1,015	1,014	0,999	0,987
50	22700	1,17	1,18	1,20	1,20	1,19	1,18
52	23608	1,40	1,40	1,42	1,42	1,41	1,40
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,95	1,93	1,93	1,94	1,94
58	26332	2,29	2,27	2,24	2,23	2,25	2,27
60	27240	2,67	2,64	2,59	2,57	2,60	2,63
62	28148	3,10	3,06	2,98	2,95	2,99	3,04
64	29056	3,59	3,53	3,41	3,37	3,42	3,49
66	29964	4,13	4,05	3,89	3,83	3,90	3,99
68	30872	4,73	4,63	4,43	4,34	4,42	4,54
70	31780	5,40	5,28	5,03	4,90	5,00	5,15
72	32688	6,15	6,00	5,68	5,52	5,63	5,82
74	33596	6,97	6,79	6,41	6,20	6,33	6,56
76	34504	7,88	7,67	7,21	6,94	7,08	7,36
78	35412	8,88	8,63	8,09	7,75	7,90	8,23
80	36320	9,98	9,69	9,05	8,63	8,79	9,18
82	37228	11,2	10,8	10,1	9,6	9,8	10,2
84	38136	12,5	12,1	11,2	10,6	10,8	11,3
86	39044	13,9	13,5	12,5	11,8	11,9	12,5
88	39952	15,5	15,0	13,8	13,0	13,2	13,8
90	40860	17,2	16,6	15,3	14,3	14,5	15,2

Tabel A.4 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu tunggal dan $IP_t = 2,5$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
4	1816	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
6	2724	0,011	0,017	0,017	0,013	0,010	0,009
8	3632	0,032	0,047	0,051	0,041	0,034	0,031
10	4540	0,078	0,102	0,118	0,102	0,088	0,080
12	5448	0,168	0,198	0,229	0,213	0,189	0,176
14	6356	0,328	0,358	0,399	0,388	0,360	0,342
16	7264	0,591	0,613	0,646	0,645	0,623	0,606
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	9988	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,30
24	10896	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	11804	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	12712	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98
30	13620	10,3	9,5	7,9	6,8	7,0	7,8
32	14528	13,9	12,8	10,5	8,8	8,9	10,0
34	15436	18,4	16,9	13,7	11,3	11,2	12,5
36	16344	24,0	22,0	17,7	14,4	13,9	15,5
38	17252	30,9	28,3	22,6	18,1	17,2	19,0
40	18160	39,3	35,9	28,5	22,5	21,1	23,0
42	19068	49,3	45,0	35,6	27,8	25,6	27,7
44	19976	61,3	55,9	44,0	34,0	31,0	33,1
46	20884	75,5	68,8	54,0	41,4	37,2	39,3
48	21792	92,2	83,9	65,7	50,1	44,5	46,5
50	22700	112,0	102,0	79,0	60,0	53,0	55,0

Tabel A.5 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $IP_t = 2,5$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
6	2724	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
8	3632	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
10	4540	0,008	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
12	5448	0,015	0,024	0,023	0,018	0,014	0,013
14	6356	0,026	0,041	0,042	0,033	0,027	0,024
16	7264	0,044	0,065	0,070	0,057	0,047	0,043
18	8172	0,070	0,097	0,109	0,092	0,077	0,070
20	9080	0,107	0,141	0,162	0,141	0,121	0,110
22	9988	0,160	0,198	0,229	0,207	0,180	0,166
24	10896	0,231	0,273	0,315	0,292	0,260	0,242
26	11804	0,327	0,370	0,420	0,401	0,364	0,342
28	12712	0,451	0,493	0,548	0,534	0,495	0,470
30	13620	0,611	0,648	0,703	0,695	0,658	0,633
32	14528	0,813	0,843	0,889	0,887	0,857	0,834
34	15436	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73
40	18160	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
42	19068	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
44	19976	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
46	20884	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
48	21792	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49
50	22700	6,12	5,76	5,03	4,64	4,86	5,28
52	23608	7,33	6,87	5,93	5,38	5,63	6,17
54	24516	8,72	8,14	6,95	6,22	6,47	7,15
56	25424	10,3	9,6	8,1	7,2	7,4	8,2
58	26332	12,1	11,3	9,4	8,2	8,4	9,4
60	27240	14,2	13,1	10,9	9,4	9,6	10,7
62	28148	16,5	15,3	12,6	10,7	10,8	12,1
64	29056	19,1	17,6	14,5	12,2	12,2	13,7
66	29964	22,1	20,3	16,6	13,8	13,7	15,4
68	30872	25,3	23,3	18,9	15,6	15,4	17,2
70	31780	29,0	26,6	21,5	17,6	17,2	19,2
72	32688	33,0	30,3	24,4	19,8	19,2	21,3
74	33596	37,5	34,4	27,6	22,2	21,3	23,6
76	34504	42,5	38,9	31,1	24,8	23,7	26,1
78	35412	48,0	43,9	35,0	27,8	26,2	28,8
80	36320	54,0	49,4	39,2	30,9	29,0	31,7
82	37228	60,6	55,4	43,9	34,4	32,0	34,8
84	38136	67,8	61,9	49,0	38,2	35,3	38,1
86	39044	75,7	69,1	54,5	42,3	38,8	41,7
88	39952	84,3	76,9	60,6	46,8	42,6	45,6
90	40860	93,7	85,4	67,1	51,7	46,8	49,7

Tabel A.6 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan $IP_t = 2,5$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
6	2724	0,0006	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003
8	3632	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
10	4540	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002
12	5448	0,005	0,007	0,006	0,004	0,003	0,003
14	6356	0,008	0,012	0,010	0,008	0,006	0,006
16	7264	0,012	0,019	0,018	0,013	0,011	0,010
18	8172	0,018	0,029	0,028	0,021	0,017	0,016
20	9080	0,027	0,042	0,042	0,032	0,027	0,024
22	9988	0,038	0,058	0,060	0,048	0,040	0,036
24	10896	0,053	0,078	0,084	0,068	0,057	0,051
26	11804	0,072	0,103	0,114	0,095	0,080	0,072
28	12712	0,098	0,133	0,151	0,128	0,109	0,099
30	13620	0,129	0,169	0,195	0,170	0,145	0,133
32	14528	0,169	0,213	0,247	0,220	0,191	0,175
34	15436	0,219	0,266	0,308	0,281	0,246	0,228
36	16344	0,279	0,329	0,379	0,352	0,313	0,292
38	17252	0,352	0,403	0,461	0,436	0,393	0,368
40	18160	0,439	0,491	0,554	0,533	0,487	0,459
42	19068	0,543	0,594	0,661	0,644	0,597	0,567
44	19976	0,666	0,714	0,781	0,769	0,723	0,692
46	20884	0,811	0,854	0,918	0,911	0,868	0,838
48	21792	0,979	1,015	1,072	1,069	1,033	1,005
50	22700	1,17	1,20	1,24	1,25	1,22	1,20
52	23608	1,40	1,41	1,44	1,44	1,43	1,41
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,93	1,90	1,90	1,91	1,93
58	26332	2,29	2,25	2,17	2,16	2,20	2,24
60	27240	2,67	2,60	2,48	2,44	2,51	2,58
62	28148	3,09	3,00	2,82	2,76	2,85	2,95
64	29056	3,57	3,44	3,19	3,10	3,22	3,36
66	29964	4,11	3,94	3,61	3,47	3,62	3,81
68	30872	4,71	4,49	4,06	3,88	4,05	4,30
70	31780	5,38	5,11	4,57	4,32	4,52	4,84
72	32688	6,12	5,79	5,13	4,80	5,03	5,41
74	33596	6,93	6,54	5,74	5,32	5,57	6,04
76	34504	7,84	7,37	6,41	5,88	6,15	6,71
78	35412	8,83	8,28	7,14	6,49	6,78	7,43
80	36320	9,92	9,28	7,95	7,15	7,45	8,21
82	37228	11,1	10,4	8,8	7,9	8,2	9,0
84	38136	12,4	11,6	9,8	8,6	8,9	9,9
86	39044	13,8	12,9	10,8	9,5	9,8	10,9
88	39952	15,4	14,3	11,9	10,4	10,6	11,9
90	40860	17,1	15,8	13,2	11,3	11,6	12,9

Tabel A.7 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu tunggal dan $IP_t = 3$

Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0008	0,0009	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002
4	1816	0,004	0,008	0,006	0,004	0,002	0,002
6	2724	0,014	0,030	0,028	0,018	0,012	0,010
8	3632	0,035	0,070	0,080	0,055	0,040	0,034
10	4540	0,082	0,132	0,168	0,132	0,101	0,086
12	5448	0,173	0,231	0,296	0,260	0,212	0,187
14	6356	0,332	0,388	0,468	0,447	0,391	0,358
16	7264	0,594	0,633	0,695	0,693	0,651	0,622
18	8172	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	9080	1,60	1,53	1,41	1,38	1,44	1,51
22	9988	2,47	2,29	1,96	1,83	1,97	2,16
24	10896	3,67	3,33	2,69	2,39	2,60	2,96
26	11804	5,29	4,72	3,65	3,08	3,33	3,91
28	12712	7,43	6,56	4,88	3,93	4,17	5,00
30	13620	10,2	8,9	6,5	5,0	5,1	6,3
32	14528	13,8	12,0	8,4	6,2	6,3	7,7
34	15436	18,2	15,7	10,9	7,8	7,6	9,3
36	16344	23,8	20,4	14,0	9,7	9,1	11,0
38	17252	30,6	26,2	17,7	11,9	11,0	13,0
40	18160	38,8	33,2	22,2	14,6	13,1	15,3
42	19068	48,8	41,6	27,6	17,8	15,5	17,8
44	19976	60,6	51,6	34,0	21,6	18,4	20,6
46	20884	74,7	63,4	41,5	26,1	21,6	23,8
48	21792	91,2	77,3	50,3	31,3	25,4	27,4
50	22700	110,0	94,0	61,0	37,0	30,0	32,0

Tabel A.8 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu ganda dan $IP_t = 3$

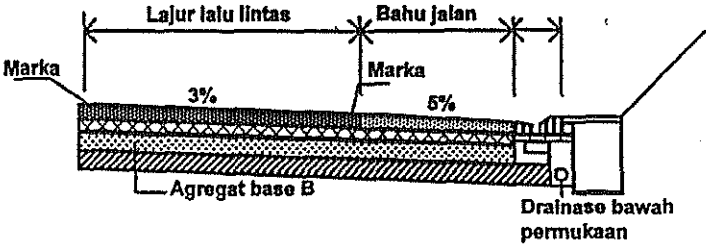
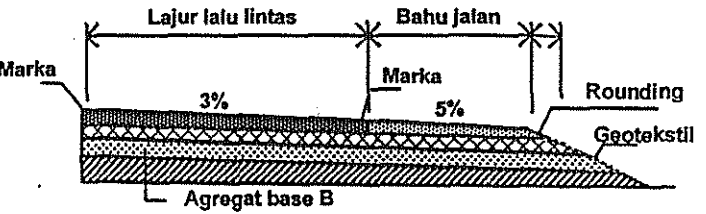
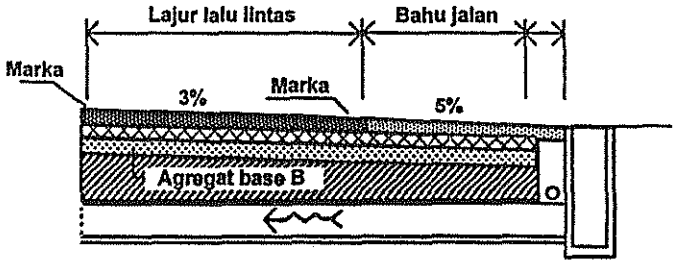
Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
4	1816	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
6	2724	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
8	3632	0,006	0,011	0,009	0,005	0,003	0,003
10	4540	0,011	0,024	0,020	0,012	0,008	0,007
12	5448	0,019	0,042	0,039	0,024	0,017	0,014
14	6356	0,031	0,066	0,068	0,045	0,032	0,026
16	7264	0,049	0,096	0,109	0,076	0,055	0,046
18	8172	0,075	0,134	0,164	0,121	0,090	0,076
20	9080	0,113	0,181	0,232	0,182	0,139	0,119
22	9988	0,166	0,241	0,313	0,260	0,205	0,178
24	10896	0,238	0,317	0,407	0,358	0,292	0,257
26	11804	0,333	0,413	0,517	0,476	0,402	0,360
28	12712	0,457	0,534	0,643	0,614	0,538	0,492
30	13620	0,616	0,684	0,788	0,773	0,702	0,656
32	14528	0,817	0,870	0,956	0,953	0,896	0,855
34	15436	1,07	1,10	1,15	1,15	1,12	1,09
36	16344	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	17252	1,75	1,71	1,64	1,62	1,66	1,70
40	18160	2,21	2,11	1,94	1,89	1,98	2,08
42	19068	2,75	2,59	2,29	2,19	2,33	2,50
44	19976	3,39	3,15	2,70	2,52	2,71	2,97
46	20884	4,15	3,81	3,16	2,89	3,13	3,50
48	21792	5,04	4,58	3,70	3,29	3,57	4,07
50	22700	6,08	5,47	4,31	3,74	4,05	4,70
52	23608	7,27	6,49	5,01	4,24	4,57	5,37
54	24516	8,65	7,67	5,81	4,79	5,13	6,10
56	25424	10,2	9,0	6,7	5,4	5,7	6,9
58	26332	12,0	10,6	7,7	6,1	6,4	7,7
60	27240	14,1	12,3	8,9	6,8	7,1	8,6
62	28148	16,3	14,2	10,2	7,7	7,8	9,5
64	29056	18,9	16,4	11,6	8,6	8,6	10,5
66	29964	21,8	18,9	13,2	9,6	9,5	11,6
68	30872	25,1	21,7	15,0	10,7	10,5	12,7
70	31780	28,7	24,7	17,0	12,0	11,5	13,9
72	32688	32,7	28,1	19,2	13,3	12,6	15,2
74	33596	37,2	31,9	21,6	14,8	13,8	16,5
76	34504	42,1	36,0	24,3	16,4	15,1	17,9
78	35412	47,5	40,6	27,3	18,2	16,5	19,4
80	36320	53,4	45,7	30,5	20,1	18,0	21,0
82	37228	60,0	51,2	34,0	22,2	19,6	22,7
84	38136	67,1	57,2	37,9	24,6	21,3	24,5
86	39044	74,9	63,8	42,1	27,1	23,2	26,4
88	39952	83,4	71,0	46,7	29,8	25,2	28,4
90	40860	92,7	78,8	51,7	32,7	27,4	30,5

Tabel A.9 - Faktor ekuivalen beban untuk sumbu triple dan $IP_t = 3$

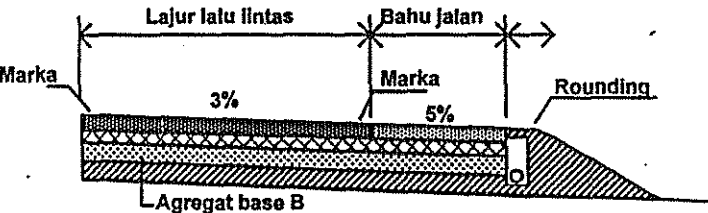
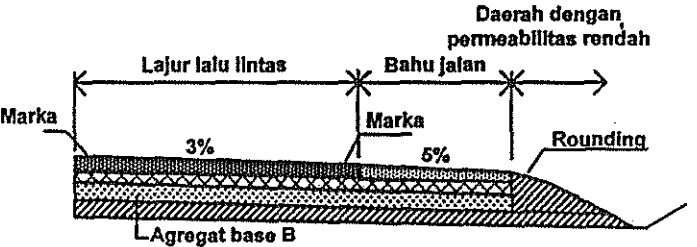
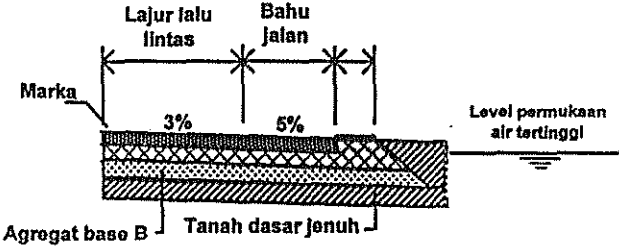
Beban Sumbu		Faktor Ekuivalen Beban Sumbu					
(kips)	(kg)	SN = 1	SN = 2	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
2	908	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
4	1816	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
6	2724	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
8	3632	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
10	4540	0,005	0,008	0,005	0,003	0,002	0,002
12	5448	0,007	0,014	0,010	0,006	0,004	0,003
14	6356	0,011	0,023	0,018	0,011	0,007	0,006
16	7264	0,016	0,035	0,030	0,018	0,013	0,010
18	8172	0,022	0,050	0,047	0,029	0,020	0,017
20	9080	0,031	0,069	0,069	0,044	0,031	0,026
22	9988	0,043	0,090	0,097	0,065	0,046	0,039
24	10896	0,059	0,116	0,132	0,092	0,066	0,056
26	11804	0,079	0,145	0,174	0,126	0,092	0,078
28	12712	0,104	0,179	0,223	0,168	0,126	0,107
30	13620	0,136	0,218	0,279	0,219	0,167	0,143
32	14528	0,176	0,265	0,342	0,279	0,218	0,188
34	15436	0,226	0,319	0,413	0,350	0,279	0,243
36	16344	0,286	0,382	0,491	0,432	0,352	0,310
38	17252	0,359	0,456	0,577	0,524	0,437	0,389
40	18160	0,447	0,543	0,671	0,626	0,536	0,483
42	19068	0,550	0,643	0,775	0,740	0,649	0,593
44	19976	0,673	0,760	0,889	0,865	0,777	0,720
46	20884	0,817	0,894	1,014	1,001	0,920	0,865
48	21792	0,984	1,048	1,152	1,148	1,080	1,030
50	22700	1,18	1,23	1,30	1,31	1,26	1,22
52	23608	1,40	1,43	1,47	1,48	1,45	1,43
54	24516	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	25424	1,95	1,92	1,86	1,85	1,88	1,91
58	26332	2,28	2,21	2,09	2,06	2,13	2,20
60	27240	2,66	2,54	2,34	2,28	2,39	2,50
62	28148	3,08	2,92	2,61	2,52	2,66	2,84
64	29056	3,56	3,33	2,92	2,77	2,96	3,19
66	29964	4,09	3,79	3,25	3,04	3,27	3,58
68	30872	4,68	4,31	3,62	3,33	3,60	4,00
70	31780	5,34	4,88	4,02	3,64	3,94	4,44
72	32688	6,08	5,51	4,46	3,97	4,31	4,91
74	33596	6,89	6,21	4,94	4,32	4,69	5,40
76	34504	7,78	6,98	5,47	4,70	5,09	5,93
78	35412	8,76	7,83	6,04	5,11	5,51	6,48
80	36320	9,84	8,75	6,67	5,54	5,96	7,06
82	37228	11,0	9,8	7,4	6,0	6,4	7,7
84	38136	12,3	10,9	8,1	6,5	6,9	8,3
86	39044	13,1	12,1	8,9	7,0	7,4	9,0
88	39952	15,3	13,4	9,8	7,6	8,0	9,6
90	40860	16,9	14,8	10,7	8,2	8,5	10,4

Lampiran B
(normatif)
Pendekatan nilai m berdasarkan kondisi lapangan
(Indonesia Infrastructure Initiative, 2011)

Tabel B.1–Hubungan kondisi lapangan/tipikal konstruksi perkerasan di lapangan dengan nilai m

No	Kondisi Lapangan	Tipikal penampang melintang perkerasan lentur	Nilai m untuk Perancangan
1	<p>Jalan didaerah galian, mempunyai drainase bawah permukaan dan <i>free draining</i>. (drainase bawah permukaan selalu berada diatas muka air banjir)</p>		1,2
2	<p>Jalan diatas tanah timbunan dengan <i>day-lighting subbase</i> (dianggap tidak akan tergenangi air)</p>		1,2
3	<p>Jalan berada pada daerah relatif datar dan level tanah asli dan mempunyai drainase bawah permukaan,</p>		1,0

Tabel B.1 – Hubungan kondisi lapangan/tipikal konstruksi perkerasan di lapangan dengan nilai m

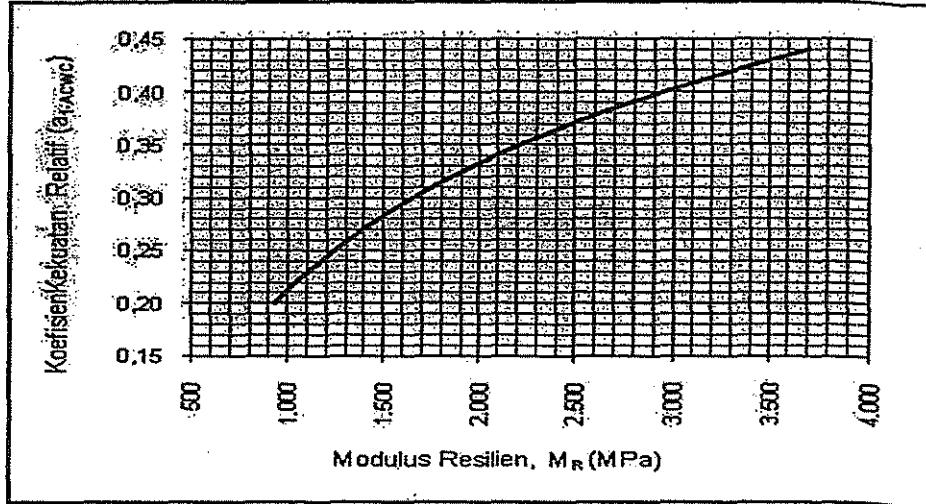
No	Kondisi Lapangan	Tipikal penampang melintang perkerasan lentur	Nilai m untuk Perancangan
4	Jalan diatas tanah timbunan dengan tepi yang bersifat permeabel rendah serta <i>boxed subbase</i> .		0,9
5	Jalan yang tidak mempunyai drainase bawah permukaan berada pada daerah galian, pada tanah asli ataupun daerah timbunan dengan lebar impermeable tepi >500 mm		0,7
6	Jalan yang tanah dasarnya selalu dalam keadaan jenuh pada waktu musim hujan. Tidak mempunyai titik pembuangan untuk drainase bawah permukaan.		0,4

Lampiran C
(informatif)
Grafik koefisien kekuatan relatif

Koefisien kekuatan relatif bahan jalan, baik campuran beraspal sebagai lapis permukaan maupun lapis fondasi serta lapis fondasi bawah disajikan di bawah ini.

C.1. Lapis permukaan beraspal

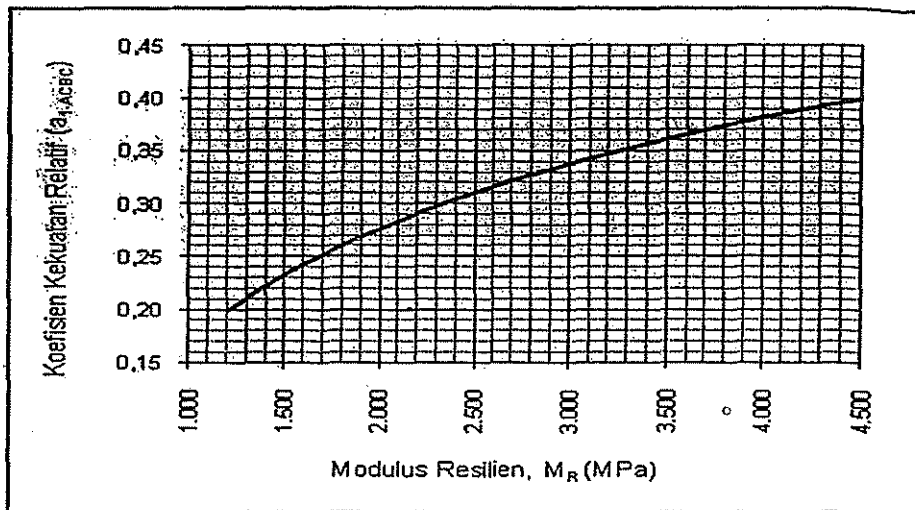
- a) Campuran beton aspal lapis aus/permukaan (*Wearing Course, WC*);



Catatan: $a_{1-ACWC} \leq 0,44$ dan modulus resilien (M_R) berdasarkan hasil pengujian alat UMATTA pada temperatur 25°C, beban 2500 N dan *rise time* 60 ms serta pembuatan benda uji dikondisikan sesuai AASHTO Designation: R 30-02 (2006)

Gambar C.1- Koefisien kekuatan relatif lapis aus (ACWC)

- b) Campuran beton aspal lapis permukaan antara (*Binder Course, BC*);

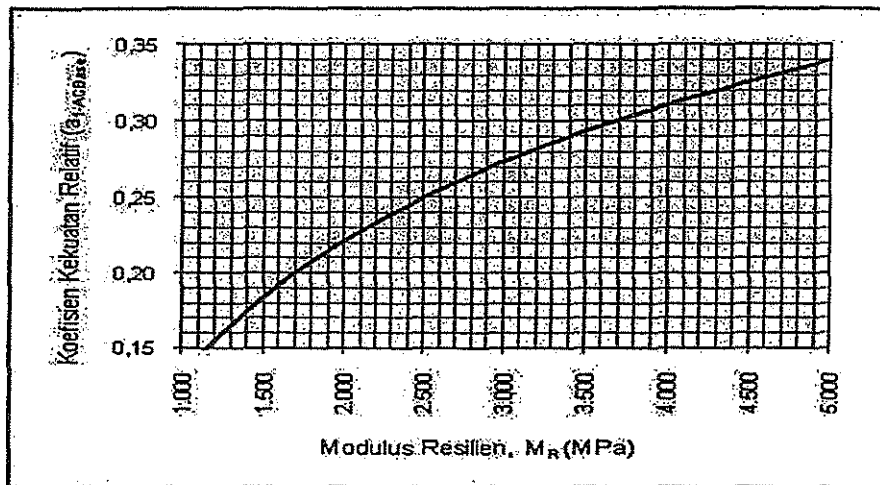


Catatan: $a_{1-ACBC} \leq 0,40$ dan modulus resilien (M_R) berdasarkan hasil pengujian alat UMATTA pada temperatur 25°C, beban 2500 N dan *rise time* 60 ms serta pembuatan benda uji dikondisikan sesuai AASHTO Designation: R 30-02 (2006)

Gambar C.2- Koefisien kekuatan relatif lapis antara (ACBC)

C.2. Lapis fondasi

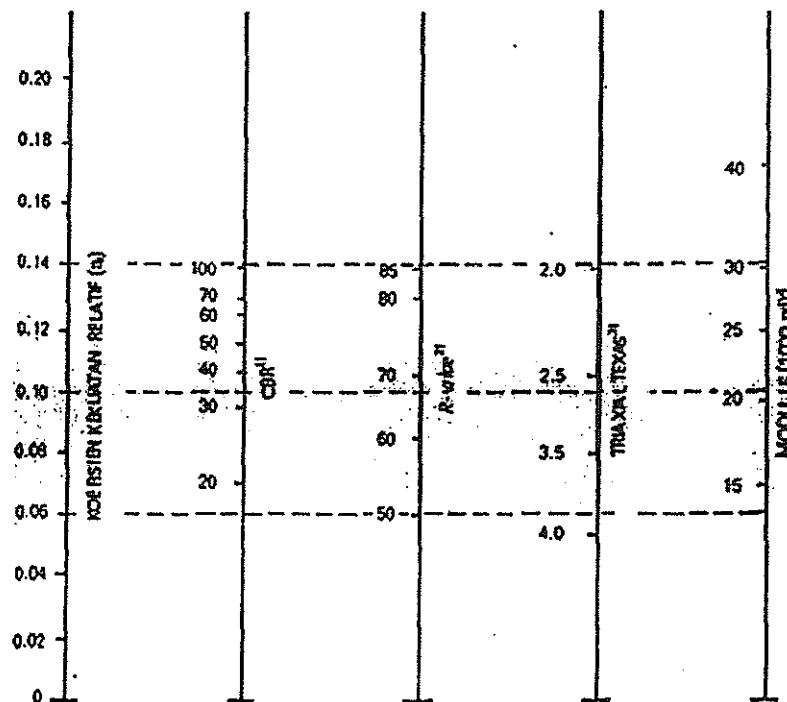
a) Campuran beton aspal lapis fondasi (*Base*);



Catatan : $a_{2-ACBase} \leq 0,34$ dan modulus resilien (M_R) berdasarkan hasil pengujian alat UMATTA pada temperatur 25°C , beban 2500 N dan *rise time* 60 ms serta pembuatan benda uji dikondisikan sesuai AASHTO Designation: R 30-02 (2006)

Gambar C.3- Koefisien kekuatan relatif lapis fondasi beraspal (ACBase)

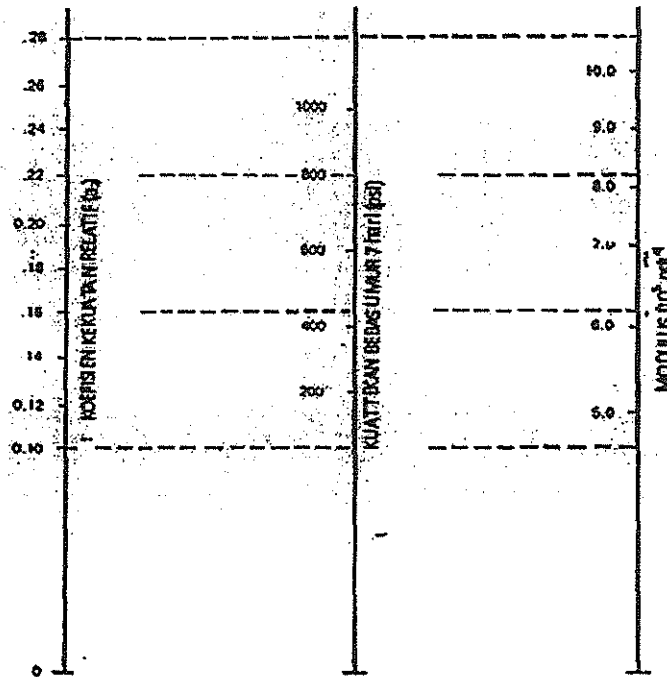
b) Lapis fondasi agregat kelas A (Base A)



- 1) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari Illinois.
- 2) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari California, New Mexico dan Wyoming.
- 3) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari Texas.
- 4) Skala diturunkan pada Proyek NCHRP.

Gambar C.4- Koefisien kekuatan relatif lapis fondasi agregat kelas A (Sumber: AASHTO 1993)

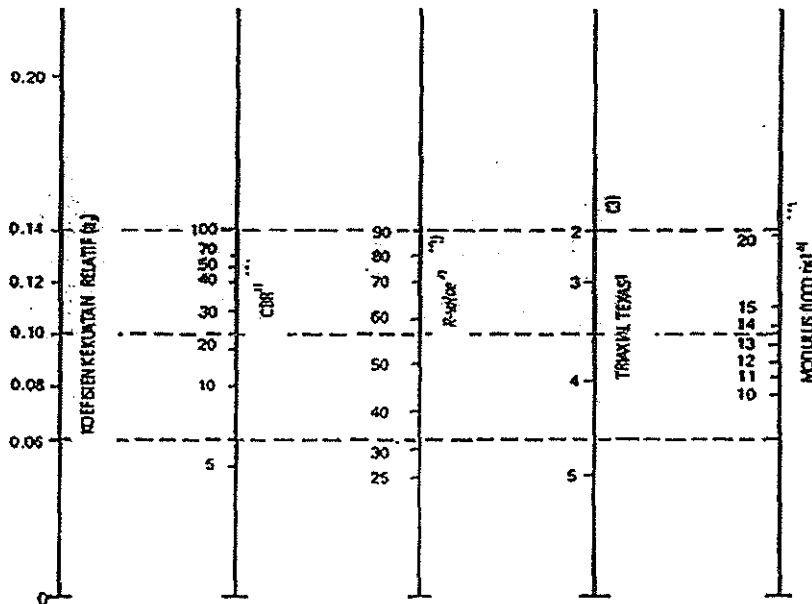
c) Lapis fondasi yang distabilisasi semen (*Cement Treated Base*)



- 1) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari Illinois, Louisiana dan Texas.
- 2) Skala diturunkan pada Proyek NCHRP.

Gambar C.5- Koefisien kekuatan relatif fondasi yang distabilisasi semen (*Cement Treated Base, CTB*), (Sumber: AASHTO 1993)

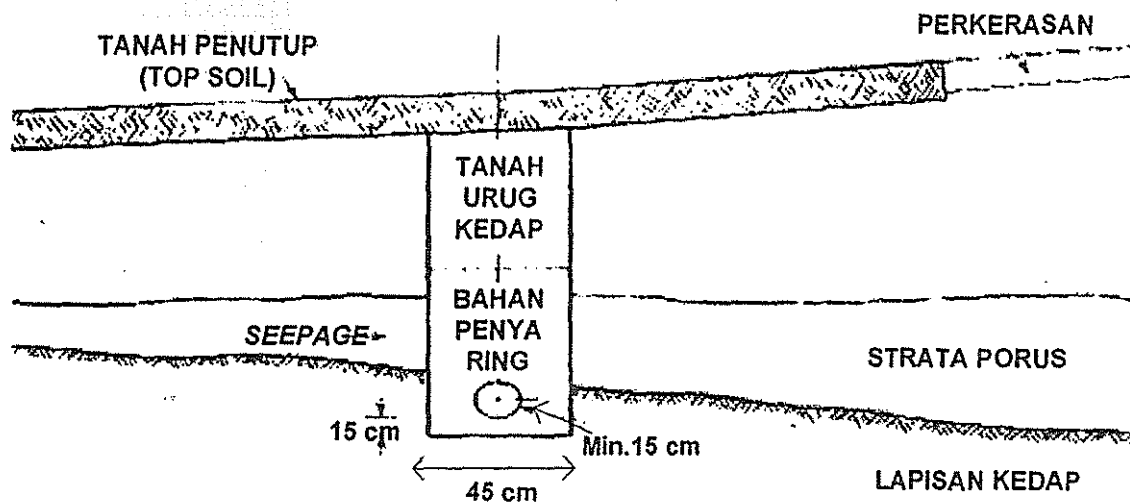
C.3. Lapis fondasi bawah



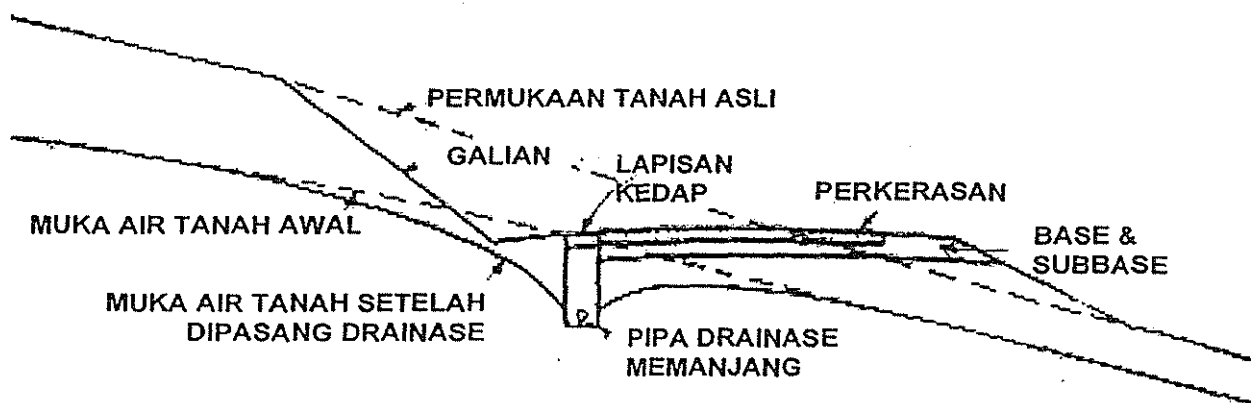
- 1) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari Illinois.
- 2) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari California, New Mexico dan Wyoming.
- 3) Skala diturunkan dengan merata-ratakan hubungan yang diperoleh dari Texas.
- 4) Skala diturunkan pada Proyek NCHRP.

Gambar C.6- Koefisien kekuatan relatif lapis fondasi bawah agregat kelas B (Sumber: AASHTO 1993)

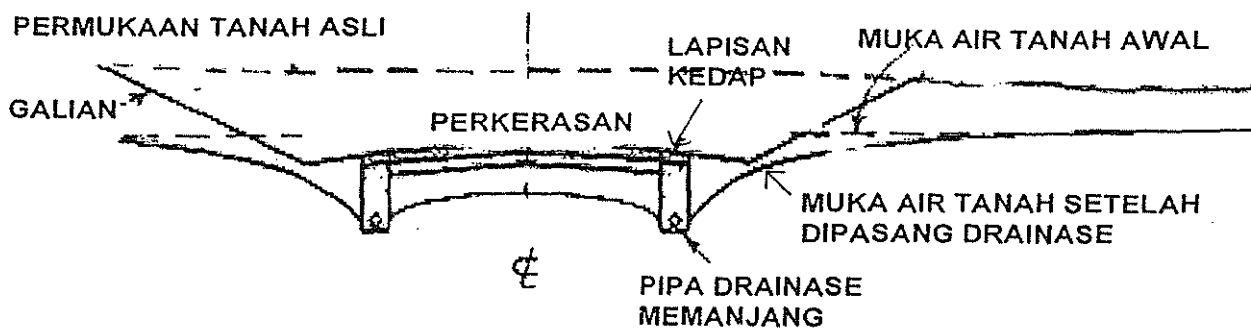
Lampiran D
(informatif)
Contoh tipikal drainase bawah permukaan



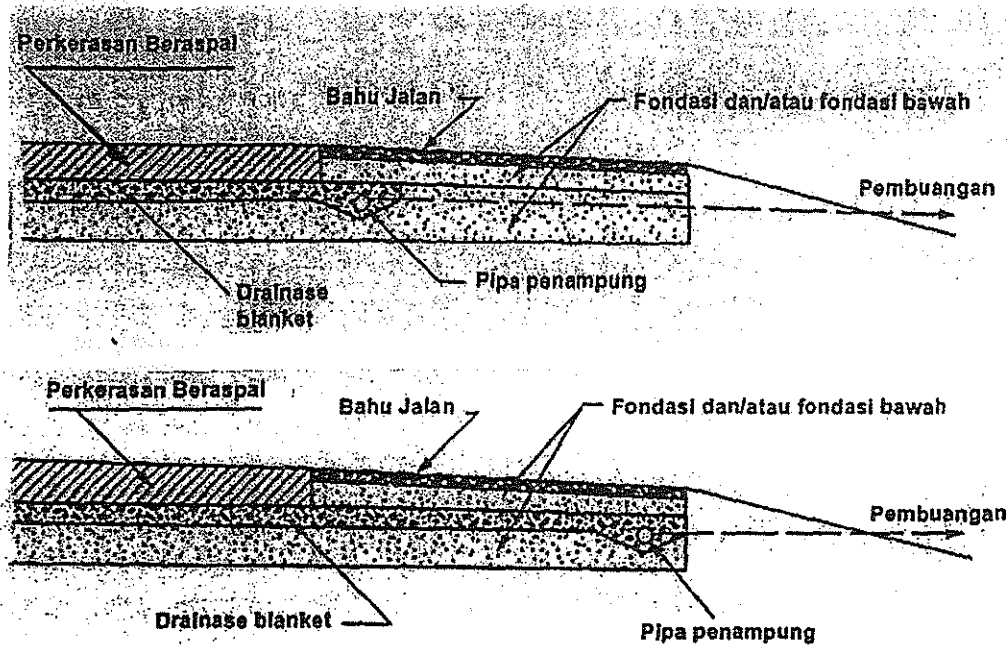
Gambar D.1 - Drainase penangkap



Gambar D.2 - Drainase tanah dasar pada daerah galian

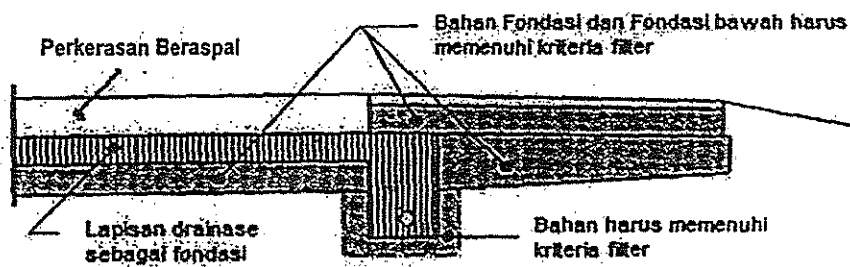


Gambar D.3 - Drainase tanah dasar pada daerah datar

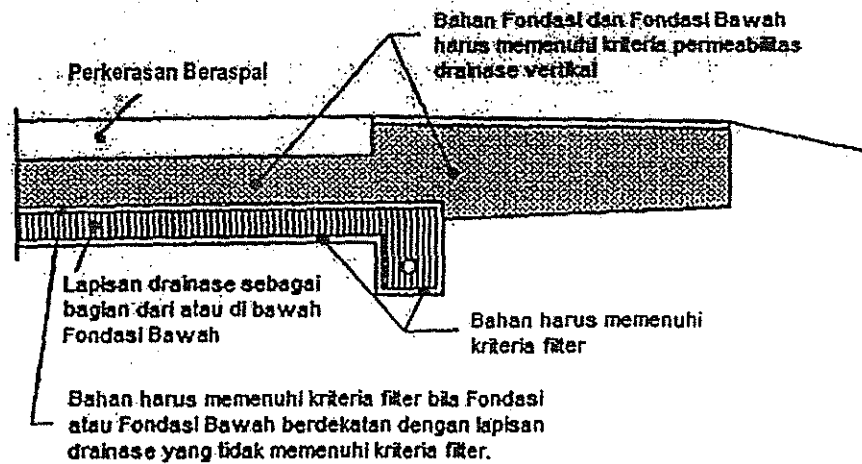


Gambar D.4- Drainase lapis fondasi (*base drainage*)

A. Fondasi sebagai lapisan drainase



B. Lapisan drainase sebagai bagian atau di bawah dari Fondasi Bawah



Catatan: Filter kain (filter fabrics) dapat digunakan sebagai pengganti bahan filter tanah atau agregat, sesuai dengan pertimbangan ekonomi

Gambar D.5- Drainase lapis fondasi (*base drainage*) (Sumber: AASHTO 1993)

Lampiran E (Informatif)

Contoh perancangan konstruksi perkerasan lentur jalan baru

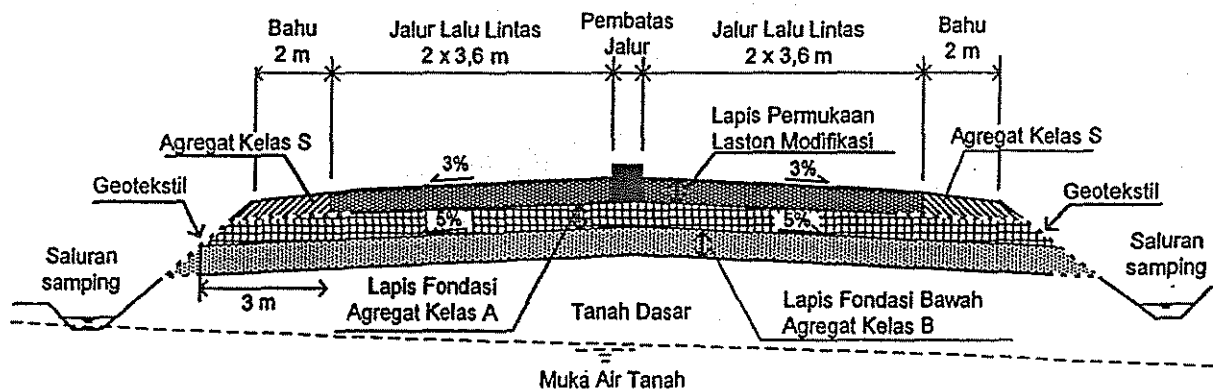
a. Diketahui

Pada jalan nasional sepanjang 5 km yang merupakan jalan antar kota akan dibangun jalan baru dengan konstruksi perkerasan lentur. Ruas jalan tersebut terdiri atas 4 lajur 2 arah dengan pemisah lajur. Jalan ini terletak di daerah relatif datar dengan kelandaian 2% dan temperatur maksimum rata-rata lapisan perkerasan selama seminggu adalah 60°C.

Tipe tanah asli pada lokasi yang akan dibangun tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi yang diklasifikasikan A-7-6 menurut SNI 03-6797-2002 atau CH menurut *Unified* atau *Casagrande Soil Classification*. Tanah dasar merupakan tanah pilihan dan direncanakan memiliki CBR minimum 6% ($M_R = 5700$ psi).

Pelaksanaan pembuatan jalan dimulai awal tahun 2010 dan rencana dioperasikan awal tahun 2011 serta umur rencana jalan 20 tahun. Data lalu lintas yang diperoleh hasil analisis dari data ruas jalan disekitarnya adalah data lalu lintas tahun 2010 dengan volume dan komposisi serta beban sumbu kendaraan seperti disajikan pada Tabel E.2. Pertumbuhan lalu lintas (g) selama konstruksi dan pengoperasian = 3% per tahun untuk seluruh kelas kendaraan. Kecepatan kendaraan rata-rata truk adalah 60 km/jam.

Konstruksi perkerasan lentur yang akan dibangun termasuk pada daerah dengan kondisi basah dan kering yang seimbang dan akan dilengkapi dengan sistem drainase yang baik sehingga air dapat keluar dari perkerasan. Gambar tipikal konstruksi perkerasan lentur yang akan dibangun seperti disajikan pada Gambar E.1. Lapis permukaan adalah lapis beton aspal atau laston lapis permukaan modifikasi (ACWC-mod).



Gambar E.1- Konstruksi perkerasan lentur rencana

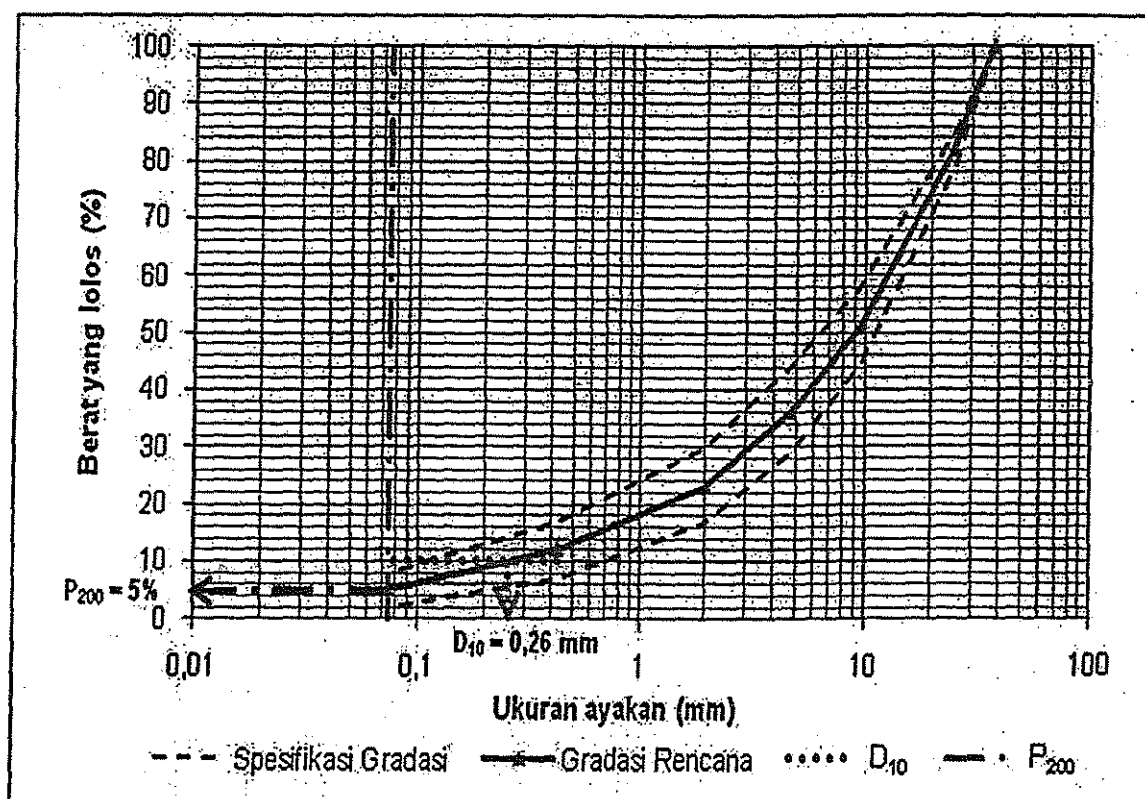
Parameter-parameter lainnya diasumsikan sebagai berikut:

- o Tingkat kepercayaan (R) = 95% (lihat Tabel 3)
- o Deviasi normal standar (Z_R) = -1,645 (lihat Tabel 4)
- o Deviasi standar gabungan (S_0) = 0,35 (lihat Butir 5.2)
- o Indeks pelayanan awal (IP_0) = 4,2 (lihat Tabel 8)
- o Indeks pelayanan akhir (IP_f) = 2,5 (lihat Tabel 7)
- o Modulus resilien efektif tanah dasar (M_R) = 5700 psi, untuk CBR = 6%
- o Gradasi agregat kelas A seperti disajikan pada Tabel E.1 dan Gambar E.2 serta diperoleh $D_{10} = 0,26$ mm dan $P_{200} = 5\%$.

Tabel E.1 - Gradasi agregat kelas A




























Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos	
ASTM	(mm)	Gradasi Rencana	Spesifikasi*
1 1/2"	37,5	100	100
1"	25	82,0	79 - 85
3/8"	9,5	51,0	44 - 58
No.4	4,75	36,0	29 - 44
No.10	2	23,0	17 - 30
No.40	0,425	12,0	7 - 17
No.200	0,075	5,0	2 - 8

*) Bina Marga (2010)



Gambar E.2- Gradasi lapis fondasi agregat kelas A

Tabel E. 2 - Volume dan komposisi serta beban sumbu kendaraan tahun 2010

KELAS KENDARAAN		LHR (2010)	JUMLAH SETIAP SUMBU KENDARAAN				BEBAN SUMBU KENDARAAN RATA RATA (kg)			
			ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	ST
(1)		(3)	(4)				(5)			
1. Kendaraan Ringan		5.704	5.704	5.704	-	-	400	650		
		7.248	7.248	7.248	-	-	600	900		
		1.643	1.643	1.643	-	-	750	1.100		
		2.079	2.079	2.079	-	-	800	1.200		
2. Truk Sedang 2 Sumbu		354	354	354	-	-	4.180	6.970		
		359	359	359	-	-	4.875	8.130		
		242	242	242	-	-	4.425	7.380		
		415	415	415	-	-	4.205	7.010		
3. Truk Besar 2 Sumbu		791	791	791	-	-	6.300	10.500		
		686	686	686	-	-	5.800	9.670		
		449	449	449	-	-	5.400	9.000		
4. Truk 3 Sumbu		309	309	-	309	-	5.175		12.350	
		176	176	-	176	-	5.310		11.620	
		527	527	-	527	-	5.400		13.800	
		146	146	-	146	-	5.740		14.480	
5. Truk 4 Sumbu		12	12	12	12	-	4.500	6.000	9.000	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Truk Gandengan		3	3	9	-	-	4.410	10.400		
		10	10	30	-	-	4.600	6.350		
		10	10	20	10	-	5.200	6.600	10.400	
7. Trailer 3 & 4 Sumbu		10	10	20	-	-	4.200		7.500	
		156	156	156	156	-	4.470	7.450	13.860	
8. Trailer 4 & 5 Sumbu		97	97	97	97	-	4.835	13.200	19.000	
		140	140	-	280	-	5.277		17.000	
9. Trailer 5 & 6 Sumbu		266	266	266	-	266	6.525	12.880		24.700
		349	349	-	349	349	6.525		14.500	21.700
10. Bus Besar		191	191	191	-	-	4.725	7.880		
Total LHR		22.372								
Total Kendaraan Ringan		16.674	16.674	16.674						
Total Kendaraan Berat		5.698	5.698	4.097	2.062	615				

Keterangan: Beban sumbu kendaraan hasil survei penimbangan dilapangan

Tentukan tebal konstruksi perkerasan lentur yang diperlukan untuk umur rencana 20 tahun.

b. Penyelesaian

1) Analisis drainase bawah permukaan

Parameter geometrik dan parameter lapisan drainase untuk menganalisis koefisien drainase yang diketahui dan diasumsikan adalah:

- Lapis fondasi bawah diasumsikan sebagai lapisan separator maka yang dianggap lapisan drainase adalah lapis fondasi agregat kelas A.
- Agregat kelas A hasil pengujian memiliki berat isi (γ_d) sebesar 93,742 lb/feet³ dan berat jenis curah/bulk (G) sebesar 2,5.
- Kemiringan memanjang lapisan fondasi/drainase, S = 2% (kelandaian jalan)
- Kemiringan melintang lapisan fondasi/drainase, Sx = 5%
- Lebar dari lapisan drainase dari sumbu jalan, W = 2 x 3,6 m + 3 m = 10,2 m atau 33,44 feet.
- Tebal lapis fondasi agregat kelas A/drainase ditetapkan, H = 15 cm = 0,49 feet.

- Porositas material (tanpa satuan, nilai rasio dari volume relatif dan total volume), $n = 1 - (93,742/62,4 \times 2,5) = 0,40$ (Persamaan 11)
- Koefisien permeabilitas lapisan drainase sesuai Persamaan 10 atau Gambar 6, adalah:

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,478} \times n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}}$$

$$k = (6,214 \times 10^5 \times 0,26^{1,478} \times 0,40^{6,654}) / 5^{0,597}$$

$$= 71,84 \text{ feet/day}$$

Tahapan analisis penentuan koefien drainase adalah:

- Porositas efektif (n_e) dari Gambar 7 untuk $k = 71,84$ feet/day diperoleh nilai porositas efektif (n_e) = 0,072.
- Resultan kemiringan (S_R) = $(S^2 + S_x^2)^{1/2} = (0,02^2 + 0,05^2)^{1/2} = 0,054$ (Persamaan 12)
- Resultan panjang aliran (L_R) = $W [1 + (S/S_x)^2]^{1/2} = 33,44 [1 + (0,02/0,05)^2]^{1/2} = 36,02$ (Persamaan 13)
- Faktor kemiringan (S_1) = $(L_R \times S_R) / H = (36,02 \times 0,054) / 0,49 = 3,944$ (Persamaan 8)
- *Time factor* dengan derajat kejenuhan 50% (T_{50}) dari hasil perhitungan S_1 berdasarkan pada Gambar 5, $T_{50} = 0,096$
- Faktor $m_d = (n_e \times L_R^2) / k \times H = (0,072 \times 36,02^2) / 71,93 \times 0,49 = 2,644$ (Persamaan 9)
- *Time-to-drain*, $t = T_{50} \times m_d \times 24 = 0,096 \times 2,644 \times 24 = 6,091$ jam (Persamaan 7)
- Kualitas drainase berdasarkan nilai $t = 6,091$ jam dari Tabel 5 diperoleh kualitas drainase "Baik".
- Lokasi ruas jalan yang dibangun diperkirakan bahwa waktu selama setahun struktur perkerasan akan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh > 25%, jadi koefisien drainase (m) adalah 1,0. (Tabel 6)

2) Analisis lalu lintas dan kekuatan struktur perkerasan

Berdasarkan volume, beban sumbu setiap kelas kendaraan, perkembangan lalu lintas 3% pertahun serta parameter perancangan lainnya, untuk menganalisis lalu lintas selama umur rencana 10 tahun, diperlukan coba-coba nilai SN.

Hasil iterasi selesai apabila prediksi lalu lintas rencana relatif sama dengan (sedikit di bawah) kemampuan konstruksi perkerasan rencana yang diinterpretasikan dengan lalu lintas.

a) Percobaan ke-1; ditetapkan SN = 6,10 dan $IP_1 = 2,5$

- ✓ Total lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan
Dalam analisis lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan, digunakan Gambar 10 atau Persamaan 16 seperti dibawah ini.

$$\log(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_f}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log(M_R) - 8,07$$

Keterangan:

Z_R	= -1,645	M_R	= 6 x 1.500 (psi) sesuai Persamaan 1
S_0	= 0,35		= 9000
ΔIP	= $IP_0 - IP_f$	IP_f	= 1,5
	= 4,2 - 2,5		
	= 1,7		

Diperoleh: $\text{LOG}(W_{18}) = 7,841$
 $W_{18} = 69.356.588 \text{ ESAL}$

Hitung lalu lintas rencana untuk umur layan 10 tahun dengan pertumbuhan 3% per tahun serta data lalu lintas seperti disajikan pada Tabel E.1 serta untuk nilai ekuivalen beban sumbu nilai $\text{SN} = 6,10$ dan $\text{IP}_i = 2,5$, maka gunakan Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 dan A.6. Dari hasil analisis diperoleh akumulasi lalu lintas rencana sebanyak 67.568.959 ESAL dan data yang lebih rinci disajikan pada Tabel E.3.

Membandingkan antara akumulasi lalu lintas rencana berdasarkan kekuatan struktur perkerasan dengan prediksi akumulasi lalu lintas rencana untuk umur rencana 20 tahun, maka kekuatan struktur perkerasan ketinggian sehingga nilai SN perlu diturunkan.

b) Percobaan ke-2; ditetapkan $\text{SN} = 6,05$ dan $\text{IP}_i = 2,5$

- ✓ Total lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan Dalam analisis lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan, digunakan Gambar 10 atau Persamaan 16 seperti dibawah ini.

$$\log(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \times \log(\text{SN}+1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{IP}}{\text{IP}_0 - \text{IP}_i}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log(M_R) - 8,07$$

Keterangan:




























Z_R	=	-1,645	M_R	=	6 x 1.500 (psi)
S_0	=	0,35		=	9000
ΔIP	=	$\text{IP}_0 - \text{IP}_i$	IP_i	=	1,5
	=	4,2 - 2,5			
	=	1,7			

Diperoleh: $\text{LOG}(W_{18}) = 7,814$
 $W_{18} = 65.156.979 \text{ ESAL}$

Hitung lalu lintas rencana untuk umur layan 10 tahun dengan pertumbuhan 3% per tahun serta data lalu lintas seperti disajikan pada Tabel E.1 serta untuk nilai ekuivalen beban sumbu nilai $\text{SN} = 6,05$ dan $\text{IP}_i = 2,5$, maka gunakan Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 dan A.6. Dari hasil analisis diperoleh akumulasi lalu lintas rencana sebanyak 67.556.944 ESAL dan data yang lebih rinci disajikan pada Tabel E.4.

Membandingkan antara akumulasi lalu lintas rencana berdasarkan kekuatan struktur perkerasan dengan prediksi akumulasi lalu lintas rencana untuk umur rencana 20 tahun, maka kekuatan stuktur (SN) perlu ditingkatkan sedikit.

Tabel E. 3 - Perhitungan lalu lintas rencana untuk umur rencana 10 tahun dengan ekuivalen beban sumbu untuk SN6,1 dan IP_t 2,5

KELAS KENDARAAN	KONFIGURASI SUMBU				LHR (2011)	JUMLAH SETIAP SUMBU KENDARAAN				BEBAN SUMBU RATA-RATA UNTUK KENDARAAN RINGAN DAN BERAT (kg)				ESAL UNTUK SN = 6,1 & IP _t = 2,5 (Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 & A.6)				DIST LJR (DL) Tabel 2	w ₁₈ (ESAL/Hari)	w ₁₈ (ESAL/Tahun) Pers.5	W ₁₈ (ESAL) Pers.6			
	S-1	S-2	S-3	S-4		ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr							
(1)	(2)				(2)	(3)				(4)				(5)				(6)	(7)=(3)x(5)	(8)=365x(6)x(7)	(9)=(8)x(((1+g) ⁿ)-1)/g			
1. Kendaraan Ringan		1	1			5.875	5.875	5.875	-	-	571	872	-	-	0,00005	0,00014	-	-	0,60	3	685	18.419		
		1	1			7.485	7.485	7.485	-	-														
		1	1			1.692	1.692	1.692	-	-														
		1	1			2.141	2.141	2.141	-	-														
2. Truk Sedang 2 Sumbu		1	2			365	365	365	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2			370	370	370	-	-														
		1	2			249	249	249	-	-														
		1	2			427	427	427	-	-														
3. Truk Besar 2 Sumbu		1	2			815	815	815	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2			707	707	707	-	-														
		1	2			482	482	482	-	-														
4. Truk 3 Sumbu		1	2.2			318	318	-	318	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2.2			181	181	-	181	-														
		1	2.2			543	543	-	543	-														
		1	2.2			150	150	-	150	-														
5. Truk 4 Sumbu		1	1	2.2		12	12	12	12	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2.2.2			-	-	-	-	-														
6. Truk Gandengan		1	2	2	2	3	3	9	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2	1	1	10	10	30	-	-														
		1	2.2	2	2	10	10	20	10	-														
7. Trailer 3 & 4 Sumbu		1	2	2		10	10	20	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2	2.2		161	161	161	161	-														
8. Trailer 4 & 5 Sumbu		1	2	2.2		100	100	100	100	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2.2	2.2		144	144	-	288	-														
9. Trailer 5 & 6 Sumbu		1	2	2.2.2		274	274	274	-	274	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
		1	2.2	2.2.2		359	359	-	359	359														
10. Bus Besar		1	2			197	197	197	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16881	1,52504	0,75727	1,27856	0,70	9.839	2.513.041	67.550.540		
Total LHR					23.040																			
Total Kendaraan Ringan					17.173	17.173	17.173																	67.568.959
Total Kendaraan Berat					5.867	5.867	4.218	2.122	833															

Tabel E. 4 - Perhitungan lalu lintas rencana untuk umur rencana 10 tahun dengan ekuivalen beban sumbu untuk SN6,05 dan IP_t 2,5

KELAS KENDARAAN	LHR (2011)	JUMLAH SETIAP SUMBU KENDARAAN				BEBAN SUMBU RATA-RATA UNTUK KENDARAAN RINGAN DAN BERAT (kg)				ESAL UNTUK SN = 6,05 & IP _t = 2,5 (Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 & A.6)				DIST LJR (DL) Tabel 2	W18 (ESAL/Hari)	w18 (ESAL/Tahun) Pers 5	W18 (ESAL) Pers 6
		ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr				
(1)	(2)	(3)				(4)				(5)				(6)	(7)=(3)x(5)	(8)=365x(6)x(7)	(9)=(8)x(((1+n)-1)/n)g
1. Kendaraan Ringan 	5.875	5.875	5.875	-	-	571	872	-	-	0,00005	0,00014	-	-	0,60	3	688	18,48
	7.465	7.465	7.465	-	-												
	1.692	1.692	1.692	-	-												
	2.141	2.141	2.141	-	-												
2. Truk Sedang 2 Sumbu 	365	365	365	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	370	370	370	-	-												
	249	249	249	-	-												
	427	427	427	-	-												
3. Truk Besar 2 Sumbu 	815	815	815	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	707	707	707	-	-												
	462	462	462	-	-												
4. Truk 3 Sumbu 	318	318	-	318	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	181	181	-	181	-												
	543	543	-	543	-												
	150	150	-	150	-												
5. Truk 4 Sumbu 	12	12	12	12	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	-	-	-	-	-												
6. Truk Gandengan 	3	3	9	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	10	10	30	-	-												
	10	10	20	10	-												
7. Trailer 3 & 4 Sumbu 	10	10	20	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	161	161	161	161	-												
8. Trailer 4 & 5 Sumbu 	100	100	100	100	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	144	144	-	288	-												
9. Trailer 5 & 6 Sumbu 	274	274	274	-	274	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
	359	359	-	359	359												
10. Bus Besar 	197	197	197	-	-	5.384	9.015	14.204	23.049	0,16923	1,52352	0,75812	1,27923	0,70	9,838	2.513,491	67.538,45
Total LHR	23.040																
Total Kendaraan Ringan	17.173	17.173	17.173														67.556,94
Total Kendaraan Berat	5.867	5.867	4.218	2.122	633												

c) Percobaan ke-3; ditetapkan SN = 6,08 dan $IP_t = 2,5$

- ✓ Total lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan .
 Dalam analisis lalu lintas yang dapat dilayani oleh konstruksi perkerasan, digunakan Gambar 10 atau Persamaan 16 seperti di bawah.

$$\log(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \times \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta IP}{IP_0 - IP_t}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log(M_R) - 8,07$$

Keterangan:

$$Z_R = -1,645$$

$$S_0 = 0,35$$

$$\begin{aligned} \Delta IP &= IP_0 - IP_t \\ &= 4,2 - 2,5 \\ &= 1,7 \end{aligned}$$

$$M_R = 6 \times 1.500 \text{ (psi)}$$

$$= 9000$$




























$$IP_t = 1,5$$

Diperoleh: $\text{LOG}(W_{18}) = 7,830$
 $W_{18} = 67.647.900 \text{ ESAL}$

Hitung lalu lintas rencana untuk umur layan 20 tahun dengan pertumbuhan 3% per tahun serta data lalu lintas seperti disajikan pada Tabel E.1 serta untuk nilai ekuivalen beban sumbu nilai SN = 6,08 dan $IP_t = 2,5$, maka gunakan Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 dan A.6. Dari hasil analisis diperoleh akumulasi lalu lintas rencana sebanyak 67.564.154 ESAL dan data yang lebih rinci disajikan pada Tabel E.5.

Membandingkan antara akumulasi lalu lintas rencana berdasarkan kekuatan struktur perkerasan dengan prediksi akumulasi lalu lintas rencana untuk umur rencana 20 tahun, maka kemampuan dari struktur perkerasan untuk melayani lalu lintas sedikit lebih tinggi dari keperluan atau cukup aman.

Tabel E. 5 - Perhitungan lalu lintas rencana untuk umur rencana 10 tahun dengan ekuivalen beban sumbu untuk SN6,08 dan IP_t 2,5

KELAS KENDARAAN	LHR (2011)	JUMLAH SETIAP SUMBU KENDARAAN				BEBAN SUMBU RATA-RATA UNTUK KENDARAAN RINGAN DAN BERAT (kg)				ESAL UNTUK SN = 5,5 & IP _t = 2,5 (Persamaan 3 dan 4 atau Tabel A.4, A.5 & A.6)				DIST LJR (DL) Tabel 2	w ₁₈ (ESAL/Hari)	w ₁₈ (ESAL/Tahun) Pers 5	W ₁₈ (ESAL) Pers 6
		ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr	ST-1	ST-2	SD	STr				
(1)	(2)	(3)				(4)				(5)				(6)	(7)=(3)x(5)	(8)=365x(6)x(7)	(9)=(8)x(((1+g) ⁿ -1)/g)
1. Kendaraan Ringan		5.875	5.875	5.875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		7.465	7.465	7.465	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1.692	1.692	1.692	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.141	2.141	2.141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Truk Sedang 2 Sumbu		365	365	365	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		370	370	370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		249	249	249	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		427	427	427	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Truk Besar 2 Sumbu		815	815	815	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		707	707	707	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		462	462	462	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Truk 3 Sumbu		318	318	-	318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		181	181	-	181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		543	543	-	543	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150	150	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Truk 4 Sumbu		12	12	12	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Truk Gandengan		3	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	10	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	10	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Trailer 3 & 4 Sumbu		10	10	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		161	161	161	161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Trailer 4 & 5 Sumbu		100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		144	144	-	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. Trailer 5 & 6 Sumbu		274	274	274	-	274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		359	359	-	359	359	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Bus Besar		197	197	197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total LHR		23.040															
Total Kendaraan Ringan		17.173	17.173	17.173													67.564.154
Total Kendaraan Berat		5.867	5.867	4.218	2.122	633											

3) Analisis konstruksi perkerasan lentur jalan baru

Parameter lapis perkerasan dan kekuatan struktur (SN) yang diperlukan.

- o Modulus dan koefisien kuat relatif lapisan perkerasan dan tanah dasar
 - Tanah dasar
CBR 6% atau modulus resilien efektif tanah dasar (M_R) = 9000 psi; sesuai Persamaan 1.
 - Agregat Kelas B
CBR 60% atau modulus 18.000 psi dan $a_3 = 0,125$; sesuai Tabel 10.
 - Agregat Kelas A
CBR 90% atau modulus 29.000 psi dan $a_2 = 0,135$; sesuai Tabel 10.
 - Laston Lapis Aus Modifikasi (ACWC-Mod)
Stabilitas 1000 kg atau Modulus 460.000 psi dan $a_1 = 0,414$; sesuai Tabel 10.

Apabila Laston lapis permukaan terlalu tebal maka untuk pertimbangan biaya ketebalan Laston lapis permukaan diambil ketebalan nominal dan kemudian dikonversikan ke lapis antara dan lapis fondasi beraspal (ACBase) dan parameternya adalah:

- Laston Lapis Antara Modifikasi (ACBC-Mod)
Stabilitas 1000 kg atau modulus 508.000 psi dan $a_1 = 0,360$; sesuai Tabel 10.
 - Laston Lapis Fondasi (ACBase)
Stabilitas 1800 kg atau modulus 500.000 psi atau ($a_2 = 0,290$); sesuai Tabel 10.
- o Koefisien drainase
Berdasarkan hasil analisis pada Lampiran E.b.1) dengan tebal lapis fondasi 15 cm (0,49 feet) maka koefisien drainase (m) untuk bahan lapis fondasi dan lapis fondasi bawah adalah 1,0.
 - o Penentuan tebal lapisan konstruksi

- SN yang diperlukan di atas lapis fondasi Kelas A dengan CBR 90% atau modulus = 29.000 psi untuk lalu lintas rencana sebanyak 67.647.900 ESAL, maka dengan menggunakan Persamaan 16 atau Gambar 10 diperoleh $SN_1 = 4,1265$.

- o $D^*_1 = SN_1 / (a_1) = 4,1265 / (0,414) = 9,97$ inci (~25,32 cm).

Untuk efisiensi, maka lapis beraspal dipasang dengan tiga (3) tipe, yaitu:

- o Laston Lapis Aus Modifikasi (ACWC-Mod)
 $D^*_{1-ACWC-Mod} = 7,0$ cm (2,76 inci)
 $SN^*_{1-ACWC-Mod} = D^*_{1-ACWC-Mod} \times a_{1-ACWC-Mod}$
 $= 2,76 \times 0,414$
 $= 1,141$
 - o Laston Lapis Antara Modifikasi (ACBC-Mod)
 $D^*_{1-ACBC-Mod} = 8,0$ cm (3,15 inci)
 $SN^*_{1-ACBC-Mod} = D^*_{1-ACBC-Mod} \times a_{1-ACBC-Mod}$
 $= 3,15 \times 0,360$
 $= 1,131$
 - o Laston Lapis Fondasi (ACBase)
 $D^*_{2-ACBase} = (SN_1 - (SN^*_{1-ACWC-Mod} + SN^*_{1-ACBC-Mod})) / a_{2-ACBase}$
 $= (4,1265 - (1,141 + 1,310)) / 0,29$
 $= 6,441$ inci = 16 36 cm (~17,0 cm)
- Jadi $SN_1 = SN^*_{1-ACWC-Mod} + SN^*_{1-ACBC-Mod} + (17 \times 2,54 \times 0,290)$

$$= 1,141 + 1,310 + 1,927$$

$$= 4,199 > SN_1 = 4,1265 \rightarrow \text{Ok}$$

- Dengan cara seperti di atas, tentukan SN bagian perkerasan di atas lapis fondasi bawah dengan memasukkan modulus lapis fondasi bawah sebesar 18.000 psidan parameter lain ke dalam Persamaan 16 atau Gambar 10, maka diperoleh nilai SN_2 sebesar 4,8726. Pada saat analisis koefisien drainase (m) tebal lapis fondasi ditetapkan $D_2^* = 15$ cm (0,49 feet atau 5,906 inci) dan $m = 1$. Untuk itu, nilai SN_2^* untuk lapis fondasi agregat kelas A adalah:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_{2\text{-fondasi kelas A}} \times m_2$$

$$= 5,906 \times 0,135 \times 1,0$$

$$= 0,800 > SN_2 - SN_1 = 4,8726 - 4,1990 = 0,6737$$

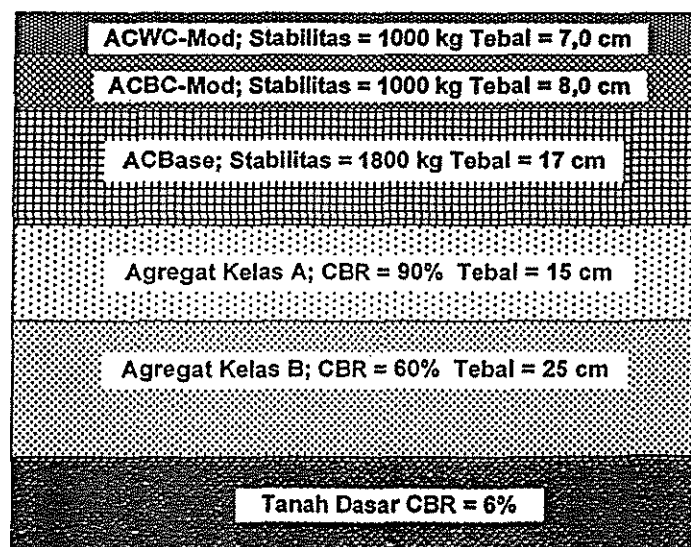
Untuk menghitung tebal lapis fondasi bawah maka sesuai dengan cara seperti di atas, tentukan SN bagian perkerasan di atas tanah dasar dengan CBR 6% atau memasukkan modulus resilien ($M_R = 9.000$ psi) dan parameter lain ke dalam Persamaan 16 atau Gambar 10, maka diperoleh nilai SN sebesar 6,08. Berdasarkan nilai SN tersebut, tebal lapis fondasi bawah yang diperlukan adalah,

$$D_3^* = \{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)\} / (a_3 \times m_3)$$

$$= \{6,080 - (4,199 + 0,800)\} / (0,125 \times 1,0)$$

$$= 8,63 \text{ inci (22,0 cm); ditetapkan} = 25,0 \text{ cm} > \text{tebal minimum sesuai Tabel 12.}$$

- Tebal lapis perkerasan rencana adalah
 - Tebal lapis permukaan (Laston modifikasi) = 25,32 cm
Apabila dibagi menjadi 3 lapisan beraspal maka dikonversikan berdasarkan koefisien kekuatan relatif masing-masing lapisan, jadi jenis dan ketebalan lapisan beraspal diperoleh:
 - ✓ Laston lapis aus Mod (ACWC-Mod); Stabilitas 1000 kg = 7,0 cm
 - ✓ Laston lapis antara (ACBC-Mod); Stabilitas 1000 kg = 8,0 cm
 - ✓ Laston lapis fondasi (ACBase); Stabilitas 1800 kg = 17,0 cm
 - Lapis fondasi Agregat Kelas A; CBR 90% = 15,0 cm.
 - Lapis fondasi bawah Kelas B; CBR 60% = 25,0 cm.



Gambar E.3-Jenis dan tebal lapis perkerasan lentur rencana

Lampiran F
(informatif)
Faktor konversi satuan

1 mil	= 0,0254 mm
1 inch	= 2,54 cm
1 <i>feet</i>	= 0,305 m
1 mph	= 0,0447 m/detik
1 inch/sec	= 0,0254 m/detik
1 psi	= 6,9 kN/m ²
	= 0,0069 MPa
1 ksi	= 6,9 MN/m ²
1 lb	= 4,45 N
	= 0,454 kg
1 kip	= 4,45 kN
	= 454 kg

**Lampiran G
(informatif)
Daftar nama dan lembaga**

G.1 Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum.

G.2 Penyusun

Nama	Instansi
Prof (R) DR. Ir. M. Sjahdanulirwan, MSc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Ir. Nono, M.Eng.Sc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Bibliografi

- Austroroad (2010). Guide to Pavement Technology-Part 2: Pavement Structural Design. Austroroad Incorporated Level 9, Robell House 287 Elizabeth Street, Sydney Australia.
- Bina Marga (2010). Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Jakarta.
- ERES (1999). Pavement Subsurface Drainage Design. Reference Manual ERES Project No. 99- 035-E1. U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, National Highway Institute., McLean, Va.
- FHWA, (2006). Geotechnical Aspects of Pavements, NHI Course No. 132040 : Reference Manual / Participant Workbook. Publication No. FHWA NHI-05-037. National Highway Institute Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C.
- FHWA, F.H.A. (1994). Drainable Pavement Systems - Participant Notebook. Demonstration Project 87: FHWA-SA-92-008. Office of Technology Applications and Office of Engineering, FHWA.
- FHWA, D.P. (1992). Drainable Pavement Systems, Participant Notebook Publication FHWA-SA- 92-008. FHWA, United States Department of Transportation, Washington, D.C.
- FHWA (1990). Highway Subdrainage Design, Publication No. FHWA-TS-80-224, August 1980 (Reprinted July 1990). FHWA, United States Department of Transportation, Washington, D.C
- Indonesia Infrastructure Initiative (2011). Road Sector Development Programme Package 3- Pavement Design Supplement: Part II, Rehabilitation and Recycling of Flexible Pavement.
- LRRB (2009). Subsurface Drainage Manual for Pavements in Minnesota, Department of Bioproducts and Biosystems Engineering University of Minnesota. Minnesota Department of Transportation Research Services Section Transportation Bldg, Minnesota.
- JRA (1980). Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement -Japan Road Association. Japan .
- NCHRP (2004). Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report Part 3 Design Analysis-Chapter 1 (Drainage). National Cooperative Highway Research Board National Research Council. ARA, Inc, ERES Consultants Division, 505 West University Avenue Champaign, Illinois 61820.
- NCHRP 1-37A (2004). Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Draft Report, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Pt T-01-2002-B, Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Salim Mahmud (1995). Laporan Penelitian Pengembangan Percontohan Jenis-jenis Perkerasan dengan Teknologi Sederhana dan Telford, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Bandung.
- Sjahanulirwan dkk (2010). Kaji Ulang Metoda Perencanaan Perkerasan Lentur dan Kaku. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung
- Ullidtz (1998). Modelling Flexible Pavement Response and Performance. The Technical University of Denmark. Polyteknisk Forlag, Denmark.