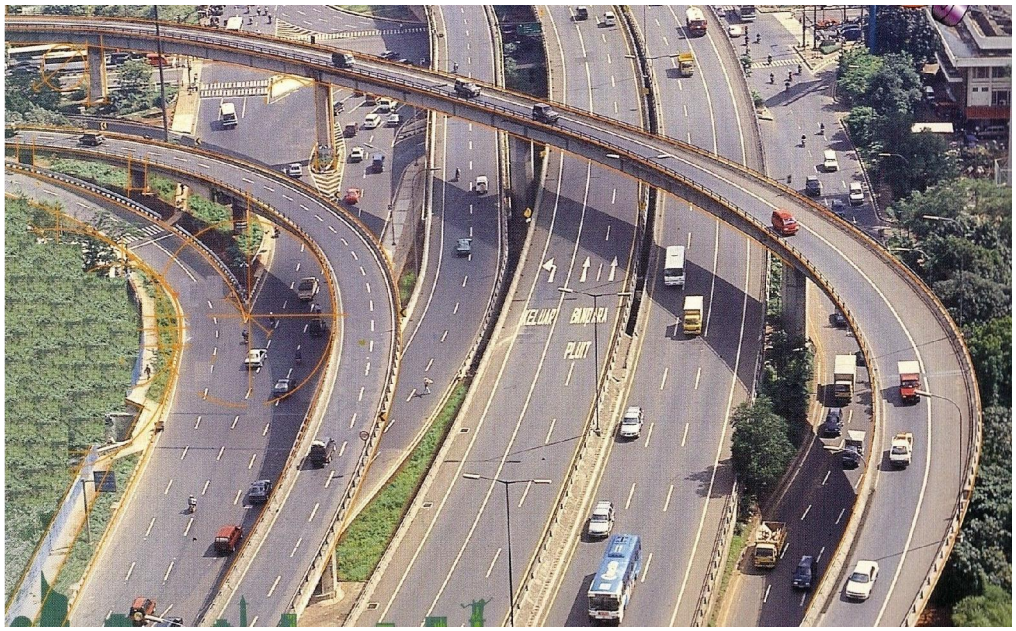
PELATIHAN ROAD DESIGN ENGINEER
(AHLI TEKNIK DESAIN JALAN)

MODUL
RDE - 11: PERENCANAAN PERKERASAN JALAN



2005

DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
BADAN PEMBINAAN KONSTRUKSI DAN SUMBER DAYA MANUSIA
PUSAT PEMBINAAN KOMPETENSI DAN PELATIHAN KONSTRUKSI (PUSBIN-KPK)

KATA PENGANTAR

Modul Perencanaan Perkerasan Jalan yang ditulis di sini merupakan uraian, penjelasan atau prinsip-prinsip umum tentang perencanaan teknis jalan pada proyek jalan yang pada umumnya dilakukan pada ruas-ruas jalan Nasional, Propinsi, maupun Kabupaten / Kota.

Ada 3 (tiga) jenis standar desain jalan yang diketengahkan dalam modul ini yaitu perencanaan teknis untuk flexible pavement, rigid pavement dan composite pavement. Di dalam modul diuraikan filosofi yang mendasari perencanaan teknis untuk ketiga jenis perkerasan di atas, tercakup di dalamnya parameter-parameter utama yang digunakan sebagai dasar dalam perencanaan teknis dimaksud. Dengan memahami filosofi dasar perencanaan teknis tersebut, diharapkan Road Design Engineer dapat menyiapkan perencanaan teknis jalan secara tepat, dalam pengertian tidak boros akan tetapi juga tidak under design.

Demikian mudah-mudahan buku ini dapat dimanfaatkan oleh peserta pelatihan. Dan kami menyadari bahwa modul ini masih jauh dari sempurna baik ditinjau dari segi materi sistematika penulisan maupun tata bahasanya. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran dari para peserta dan pembaca semua, dalam rangka perbaikan dan penyempurnaan modul ini.

LEMBAR TUJUAN

JUDUL PELATIHAN : Pelatihan Ahli Teknik Desain Jalan (*Road Design Engineer)*

MODEL PELATIHAN : Lokakarya terstruktur

TUJUAN UMUM PELATIHAN :

Setelah modul ini dipelajari, peserta mampu membuat desain jalan mencakup perencanaan geometrik dan perkerasan jalan termasuk mengkoordinasikan perencanaan drainase , bangunan pelengkap dan perlengkapan jalan.

TUJUAN KHUSUS PELATIHAN :

Pada akhir pelatihan ini peserta diharapkan mampu:

1. Melaksanakan Etika Profesi, Etos Kerja, UUJK dan UU Jalan.
2. Melaksanakan Manajemen K3, RKL dan RPL.
3. Mengenal dan Membaca Peta.
4. Melaksanakan Survei Penentuan Trase Jalan.
5. Melaksanakan Dasar-dasar Pengukuran Topografi
6. Melaksanakan Dasar-dasar Survei dan Pengujian Geoteknik.
7. Melaksanakan Dasar-dasar Perencanaan Drainase.
8. Melaksanakan Rekayasa Lalu-lintas.
9. Melaksanakan Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pelengkap dan Perlengkapan Jalan.
10. Melaksanakan Perencanaan Geometrik.
11. Melaksanakan Perencanaan Perkerasan Jalan.
12. Melakukan pemilihan jenis Bahan Perkerasan Jalan.

NOMOR : RDE-11

JUDUL MODUL : PERENCANAAN PERKERASAN JALAN

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM (TIU)

Setelah modul ini dipelajari, peserta mampu melakukan perencanaan perkerasan jalan

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS (TIK)

Pada akhir pelatihan peserta mampu :

1. Melakukan perencanaan perkerasan lentur dengan metode AASHTO
2. Melakukan perencanaan perkerasan kaku dengan metode AASHTO
3. Melakukan perencanaan perkerasan kaku dengan metode PCA

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	**i**
LEMBAR TUJUAN	**ii**
DAFTAR ISI	**iv**
DESKRIPSI SINGKAT PENGEMBANGAN MODUL PELATIHAN AHLI TEKNIK DESAIN JALAN (Road Design Engineer)	**vi**
DAFTAR MODUL	**vii**
PANDUAN PEMBELAJARAN	**viii**
BAB I PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE AASHTO	**I – 1**
1.1 Umum	I – 1
1.2 Traffic	I – 1
1.3 Reliability	I – 4
1.4 Serviceability	I – 6
1.5 Resilient Modulus	I – 7
1.5.1 Resilient Modulus Tanah Dasar	I – 7
1.5.2 Resilient Modulus Agregat Base Kelas A & B	I – 7
1.5.3 Resilient Modulus Ac Base (Atb)	I – 8
1.6 Drainage Coefficient	I – 8
1.6.1 Variabel Faktor Drainase	I – 8
1.6.2 Penetapan Variable Mutu Drainase	I – 8
1.6.3 Penetapan Variable Prosen Perkerasan Terkena Air	I – 8
1.7 Layer Coefficient	I – 11
1.7.1 Layer Coefficient Ac Wearing Course & Binder Course	I – 11
1.7.2 Layer Coefficient Asphalt Treated Base	I – 11
1.7.3 Layer Coefficient Agregat Base Kelas A	I – 12
1.7.4 Layer Coefficient Agregat Base Kelas B	I – 12
1.7.5 Layer Coefficient Cement Treated Base	I – 12
1.8 Structural Number	I – 12
1.9 Tebal Minimum Lapis Perkerasan	I – 14
1.10 Persamaan Dasar Perkerasan Lentu	I – 15
1.11 Stage Construction	I – 15
1.12 Parameter Desain Dan Data	I – 17
BAB II PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN METODE AASHTO	**II – 1**
2.1. Umum	II – 1
2.2. Traffic	II – 1
2.3. Reliability	II – 3
2.4. Serviceability	II – 4
	II – 7

2.5. Modulus Reaksi Tanah Dasar II – 8
2.6. Modulus Elastisitas Beton II – 11
2.7. Flexural Strength II – 12
2.8. Load Transfer II – 12
2.9. Drainage Coefficient II – 12
2.9.1. Variabel Faktor Drainase II – 12
2.9.2. Penetapan Variable Mutu Drainase II – 13
2.9.3. Penetapan Variable Prosen Perkerasan Terkena Air II – 14
2.10. Persamaan Penentuan Tebal Pelat (D) II – 16
2.11. Paremeter Desain Dan Data Perencanaan Rigid Pavement II – 17
2.12. Desain Gabungan Rigid & Flexible Pavement II – 17
2.13. Additional Overlay II – 18
2.14. Reinforcement Design II – 22
2.14.1. Steel Working Stress II – 22
2.14.2. Friction Factor II – 22
2.14.3. Longitudinal & Transverse Steel Reinforcing II – 22
2.14.4. Tie Bar II – 23
2.14.5. Dowel II – 24
2.14.6. Parameter Desain Dan Data Reinforcement Design II – 25
2.15. Tinjauan Khusus Perencanaan Penulangan Dan Sambungan II – 25
2.15.1. Tata Cara Perencanaan Penulangan II – 25
2.15.2. Sambungan II – 29

BAB III PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN METODE PCA III – 1
3.1. Umum III – 1
3.2. Traffic III – 1
3.3. Modulus Reaksi Tanah Dasar III – 4
3.4. Tegangan Yang Terjad III – 6
3.5. Kuat Lentur Tarik Beton III – 7
3.6. Perbandingan Tegangan III – 7
3.7. Jumlah Repetisi Beban Yang Diijinkan & Persentase Fatique III – 7
3.8. Prosedur Perancangan III – 9

RANGKUMAN

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Contoh Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

LAMPIRAN 2 Contoh Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode PCA

LAMPIRAN 3 Contoh Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993

LAMPIRAN 4 Vehicle Damage Factor

DAFTAR PUSTAKA

HAND OUT

DESKRIPSI SINGKAT PENGEMBANGAN MODUL PELATIHAN AHLI TEKNIK DESAIN JALAN (Road Design Engineer)

1. Kompetensi kerja yang disyaratkan untuk jabatan kerja ***Ahli Teknik Desain Jalan (Road Design Engineer)*** dibakukan dalam Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) yang didalamnya telah ditetapkan unit-unit kerja sehingga dalam Pelatihan ***Ahli Teknik Desain Jalan (Road Design Engineer)*** unit-unit tersebut menjadi Tujuan Khusus Pelatihan.
2. Standar Latihan Kerja (SLK) disusun berdasarkan analisis dari masing-masing Unit Kompetensi, Elemen Kompetensi dan Kriteria Unjuk Kerja yang menghasilkan kebutuhan pengetahuan, keterampilan dan sikap perilaku dari setiap Elemen Kompetensi yang dituangkan dalam bentuk suatu susunan kurikulum dan silabus pelatihan yang diperlukan untuk memenuhi tuntutan kompetensi tersebut.
3. Untuk mendukung tercapainya tujuan khusus pelatihan tersebut, maka berdasarkan Kurikulum dan Silabus yang ditetapkan dalam SLK, disusun seperangkat modul pelatihan (seperti tercantum dalam Daftar Modul) yang harus menjadi bahan pengajaran dalam pelatihan ***Ahli Teknik Desain Jalan (Road Design Engineer)***.

DAFTAR MODUL

Jabatan Kerja :	**Road Design Engineer (RDE)**

Nomor Modul	**Kode**	**Judul Modul**
1	RDE – 01	Etika Profesi, Etos Kerja, UUJK, dan UU Jalan
2	RDE – 02	Manjemen K3, RKL dan RPL
3	RDE – 03	Pengenalan dan Pembacaan Peta
4	RDE – 04	Survai Penentuan Trase jalan
5	RDE – 05	Dasar-dasar Pengukuran Topografi
6	RDE – 06	Dasar-dasar Survai dan Pengujian Geoteknik
7	RDE – 07	Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan
8	RDE – 08	Rekayasa Lalu Lintas
9	RDE – 09	Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pelengkap
10	RDE – 10	Perencanaan Geometrik
11	***RDE – 11***	***Perencanaan Perkerasan Jalan***
12	RDE – 12	Bahan Perkerasan jalan

PANDUAN INSTRUKTUR

A. BATASAN

NAMA PELATIHAN : **AHLI TEKNIK DESAIN JALAN**
(Road Design Engineer)

KODE MODUL : **RDE - 11**

JUDUL MODUL : **PERENCANAAN PERKERASAN JALAN**

DESKRIPSI : Modul ini membicarakan mengenai perencanaan perkerasan jalan, meliputi uraian, penjelasan ataupun prinsip-prinsip umum tentang perencanaan teknis jalan, mengetengahkan standar desain jalan, perencanaan teknis untuk flexible pavement, rigid pavement dan composite pavement. Tercakup didalamnya mulai dari survey dan pengumpulan data lapangan, perencanaan perkerasan lentur dan kaku dengan beberapa metode, metode analisa komponen, AASTHO, dan juga cara PCA..

TEMPAT KEGIATAN : Ruangan Kelas lengkap dengan fasilitasnya.

WAKTU PEMBELAJARAN : 16 (enam belas) Jam Pelajaran (JP) (1 JP = 45 Menit)

B. KEGIATAN PEMBELAJARAN

Kegiatan Instruktur	Kegiatan Peserta	Pendukung
1. Ceramah : Pembukaan ▪ Menjelaskan tujuan instruksional (TIU dan TIK) ▪ Merangsang motivasi peserta de-ngan pertanyaan ataupun penga-lamannya dalam melakukan pe-kerjaan jalan Waktu : 10 menit	▪ Mengikuti penjelasan TIU dan TIK dengan tekun dan aktif ▪ Mengajukan pertanyaan a-pabila ada yang kurang jelas	OHP.
2. Ceramah : Bab I, Perencanaan perkerasan lentur dengan metode AASHTO Memberikan penjelasan, uraian atau-pun bahasan mengenai perencanaan lentur dengan metode aashto, ter-kait dengan prosedur, parameter : ▪ Traffic ▪ Reliability ▪ Serviceability ▪ Resilient moduls ▪ Drainage, layer coefficient ▪ Structural number ▪ Tebal minimum lapis perkerasan ▪ Stage construction ▪ Parameter desain dan data Waktu : 230 menit	▪ Mengikuti penjelasan instruk-tur dengan tekun dan aktif ▪ Mencatat hal-hal yang perlu ▪ Mengajukan pertanyaan a-pabila ada yang kurang jelas ▪ Melakukan diskusi dengan instruktur mengenai hal-hal yang belum dipahami	OHP.
6. Ceramah : Bab II, Perencanaan perkerasan kaku dengan metode PCA Memberikan penjelasan, bahasan a-taupun uraian mengenai berbagai hal terkait dengan perencanaan perkerasan metode PCA : ▪ Traffic, ▪ Modul reaksi tanah dasar ▪ Tegangan yang terjadi ▪ Kuat lentur tarik beton, perban-dingan tegangan ▪ Jumlah repetisi beban yang dii-zinkan dan presentase fatique ▪ Prosedur perancangan Waktu : 240 menit	▪ Mengikuti penjelasan instruk-tur dengan tekun dan aktif ▪ Mencatat hal-hal yang perlu ▪ Mengajukan pertanyaan a-pabila ada yang kurang jelas ▪ Melakukan diskusi dengan instruktur mengenai hal-hal yang belum dipahami	OHP.

Kegiatan Instruktur	Kegiatan Peserta	Pendukung
7. Ceramah : Bab III, Perencanaan perkerasan kaku dengan metode AASHTO Memberikan penjelasan, bahasan a-taupun uraian mengenai berbagai hal terkait dengan perencanaan per-kerasan metode AASHTO : ▪ Parameter perencanaan ▪ Traffic ▪ Reliability, serviceability ▪ Modules reaksi tanah dasar, mo-dul elastisitas beton ▪ Flexural strength, load tranfer ▪ Drainage coeficient ▪ Penentuan tebal pelat ▪ Parameter desain dan data pe-rencanaan rigid pavement ▪ Desain gabungan rigid & flexible pavement ▪ Additional overlay reinforcement design ▪ Tinjauan khusus perencanaan penulangan dan sambungan Waktu : 240 menit	▪ Mengikuti penjelasan instruk-tur dengan tekun dan aktif ▪ Mencatat hal-hal yang perlu ▪ Mengajukan pertanyaan a-pabila ada yang kurang jelas ▪ Melakukan diskusi dengan instruktur mengenai hal-hal yang belum dipahami	OHP.

BAB I
PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE AASHTO

1.1 UMUM

Perencanaan yang digunakan mengacu pada ***AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993***. Prosedur, parameter-parameter perencanaan dijelaskan sebagai berikut dibawah ini. Dan bagan alir prosedur perencanaan diperlihatkan seperti pada *Gambar 1.*

1.2 TRAFFIC

Data dan parameter lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan meliputi :

- Jenis kendaraan.
- Volume lalu-lintas harian rata-rata.
- Pertumbuhan lalu-lintas tahunan.
- Damage factor.
- Umur rencana
- Faktor distribusi arah.
- Faktor distribusi lajur.
- Equivalent Single Axle Load, ESAL selama umur rencana *(traffic design)*.

Faktor distribusi arah : D_D = 0,3 – 0,7 dan umumnya diambil 0,5 *(AASHTO 1993 halaman II-9)*.

Faktor distribusi lajur (D_L), mengacu pada *Tabel 1.1*

Tabel 1.1. Faktor distribusi lajur (D_L).

Jumlah lajur setiap arah	D_L (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Rumus umum desain traffic (ESAL = Equivalent Single Axle Load) :

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times DF_j \times D_A \times D_L \times 365$$

dimana :

W_{18} = Traffic design pada lajur lalu-lintas, Equivalent Single Axle Load.

LHR_j = Jumlah lalu-lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j.

DF_j = Damage factor untuk jenis kendaraan j.

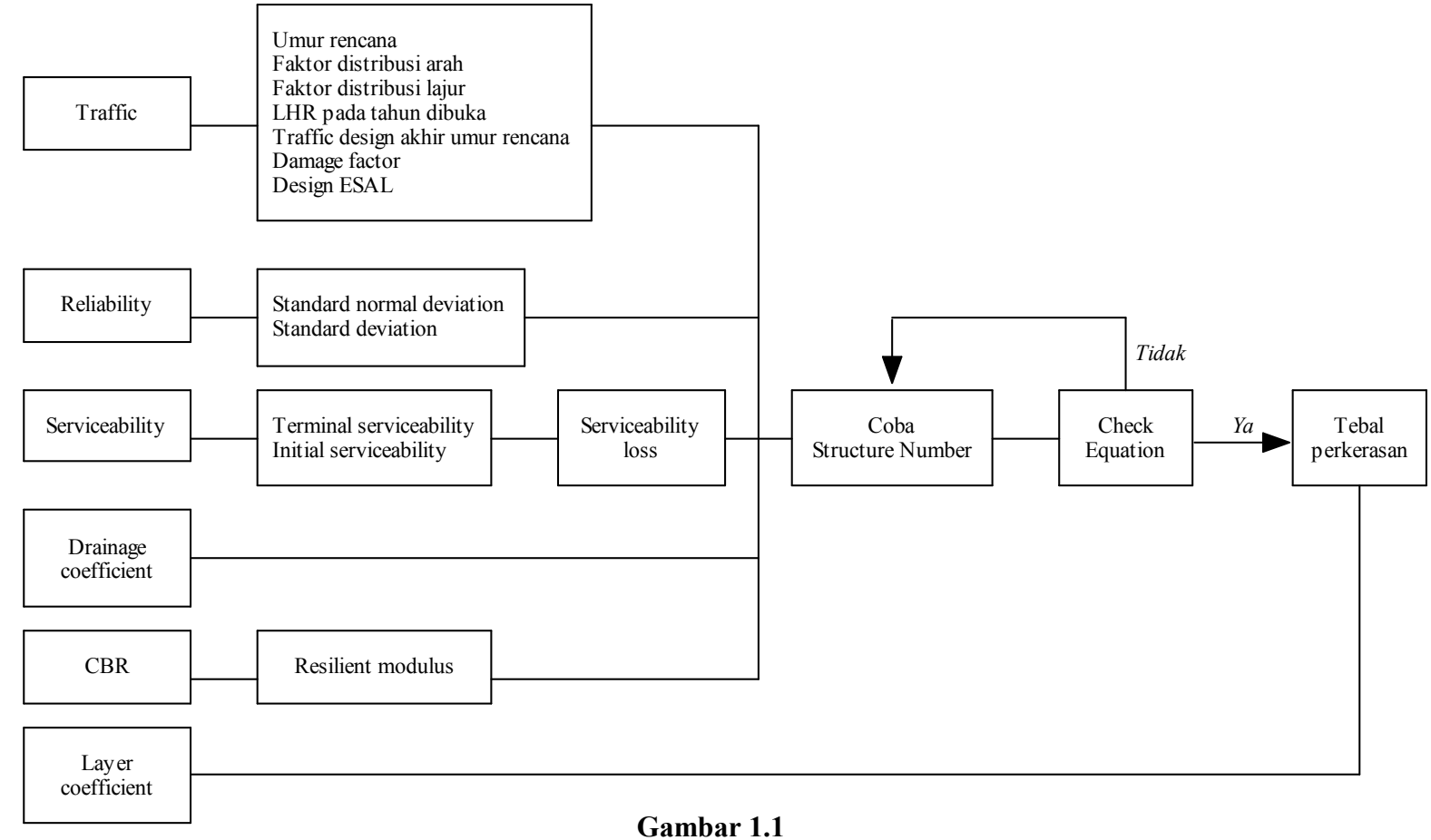
D_A = Faktor distribusi arah.

D_L = Faktor distribusi lajur.

N1 = Lalu-lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

Nn = Lalu-lintas pada akhir umur rencana.

BAGAN ALIR PROSEDUR PERENCANAAN FLEXIBLE PAVEMENT DENGAN METODE AASHTO



Gambar 1.1

1.3 RELIABILITY

Reliability : Probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya.

Penetapan angka *Reliability* dari 50 % sampai 99,99 % menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi reliability yang dipakai semakin tinggi tingkat mengatasi kemungkinan terjadinya selisih (deviasi) desain dan kenyataan. Besaran-besaran desain yang terkait dengan ini antara lain :

- Peramalan kinerja perkerasan.
- Peramalan lalu-lintas.
- Perkiraan tekanan gandar.
- Pelaksanaan konstruksi.

Kinerja perkerasan diramalkan pada angka desain ***Terminal Serviceability*** p_t = 2,5 (untuk jalan raya utama), p_t = 2,0 (untuk jalan lalu-lintas rendah), dan ***Initial Serviceability*** p_o = 4,2 (angka ini bergerak dari 0 – 5).

Peramalan lalu-lintas dilakukan dengan studi tersendiri, bukan hanya didasarkan rumus empirik. Tingkat kehandalan jauh lebih baik dibandingkan bila dilakukan secara empiris, linear, data sekunder.

Perkiraan tekanan gandar yang diperoleh secara primer dari WIM survey, tingkat kehandalannya jauh lebih baik dibanding menggunakan data sekunder.

Dalam pelaksanaan konstruksi, spesifikasi sudah membatasi tingkat / syarat agar perkerasan sesuai (atau lebih) dari apa yang diminta desain. Bahkan desain merupakan syarat minimum dalam spesifikasi.

Mengkaji keempat faktor diatas, penetapan besaran dalam desain sebetulnya sudah menekan sekecil mungkin penyimpangan yang akan terjadi. Tetapi tidak ada satu jaminan-pun berapa besar dari keempat faktor tersebut menyimpang.

Reliability (R) mengacu pada *Tabel 1.2. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-9), standard normal deviate* (Z_R) mengacu pada *Tabel 4.3.2. (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).*

Standard deviation (S_o) untuk flexible pavement :

S_o = 0,40 – 0,50 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).*

Tabel 1.2. : Reliability (R) disarankan.

Klasifikasi jalan	Reliability : R (%)	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Tabel 1.3. : Standard normal deviation (Z_R).

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

Catatan : Untuk menggunakan besaran-besaran dalam standar AASHTO ini sebenarnya dibutuhkan suatu rekaman data, evaluasi desain / kenyataan beserta biaya konstruksi dan pemeliharaan dalam kurun waktu yang cukup. Dengan demikian besaran parameter yang dipakai tidak selalu menggunakan “angka tengah” sebagai kompromi besaran yang diterapkan.

Penetapan konsep Reliability dan Standar Deviasi :

Berdasarkan uraian konsep penetapan reliability diatas, parameter reliability dapat ditentukan sebagai berikut :

- Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan
- Berdasar status lokasi jalan urban / rural
- Penetapan tingkat Reliability (R)
- Penetapan standard normal deviation (Z_R)
- Penetapan standar deviasi (S_o)
- Kehandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan

1.4 SERVICEABILITY

Terminal serviceability index (p_t) mengacu pada *Tabel 1.4*. Initial serviceability untuk flexible pavement : p_o = 4,2 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-10).*

Tabel 1.4. : Terminal serviceability index (p_t).

Percent of people stating unacceptable	p_t
12 55 85	3,0 2,5 2,0

Penetapan parameter serviceability :

Initial serviceability : p_o = 4,5

Terminal serviceability index Jalur utama (major highways) : p_t = 2,5

Terminal serviceability index Jalan lalu-lintas rendah : p_t = 2,0

Total loss of serviceability : $\Delta PSI = p_o - p_t$

1.5 RESILIENT MODULUS

1.5.1 RESILIENT MODULUS TANAH DASAR

Resilient Modulus Tanah Dasar (M_R) :

$M_R = C_R$ x CBR (psi)

C_R = Nilai dengan range 750 – 3.000

M_R = 1.500 x CBR

M_R = 1.500 x 6 = 9.000 psi

1.5.2 RESILIENT MODULUS AGREGAT BASE KELAS A & B

M_R = A + B x R

M_R = Resilient modulus (psi)

A = 772 – 1.155

B = 369 – 555

R = R-value

$A = \frac{772+1155}{2} = 964$; ambil : A = 1.000

$B = \frac{369+555}{2} = 462$; ambil : B = 450

Penentuan resilient modulus Agregat Base Klas A :

CBR = 80

R = 85 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21)*

M_R = 1.000 + 450 x 85 = 39.250 psi ; ambil = 40.000 psi

Penentuan resilient modulus Agregat Base Klas B :

CBR = 40

R = 70 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21)*

M_R = 1.000 + 450 x 70 = 32.500 psi ; ambil = 30.000 psi

1.5.3 RESILIENT MODULUS AC BASE (ATB)

Marshall stability = 900 kg = 1.982 lb

M_R = 420.000 psi *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-24)*

Elastic (Resilient) Modulus Asphalt Concrete Surface Course

M_R = 450.000 psi *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-17).*

1.6 DRAINAGE COEFFICIENT

1.6.1 VARIABEL FAKTOR DRAINASE

AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai drainase :

- Variabel pertama : mutu drainase, dengan variasi excellent, good, fair, poor, very poor. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.
- Variabel kedua : persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air *(saturated),* dengan variasi < 1 %, 1 – 5 %, 5 – 25 %, > 25 %

1.6.2 PENETAPAN VARIABLE MUTU DRAINASE

Penetapan variable pertama mengacu pada *Tabel 1.5. (diambil dari AASHTO 1993 halaman DD-2)* dan *Tabel 1.6. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-22),* dan dengan pendekatan sebagai berikut :
Contoh pendekatan : Untuk flexible pavement, Base Course yang akan dipakai merupakan material yang mempunyai Plasticity Index (PI) rendah yaitu < 6 %, angka permeabilitas k = 100 ft/hari, slope 0,02, lebar lintasan drainase L ≈ 24 ft, tebal lapisan drainase H ≈ 1 ft, maka diperoleh waktu mematus 0,2 hari. Angka ini masuk dalam kategori *Good - Excellent*.

1.6.3 PENETAPAN VARIABLE PROSEN PERKERASAN TERKENA AIR

Penetapan variable kedua yaitu persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat saturated, relatif sulit, belum ada data rekaman pembanding dari jalan /

jalan tol lain, namun dengan pendekatan-pendekatan, pengamatan dan perkiraan berikut ini, nilai dari faktor variabel kedua tersebut dapat didekati.

Tabel 1.5. : Waktu untuk me-drain lapis pondasi untuk 50 % saturation (hari)

Permeability k (ft/hari)	Porosity n	Slope S	H = 1		H = 2	
			L = 12	L = 24	L = 12	L = 24
0,1	0,015	0,01	10	36	6	20
		0,02	9	29	5	18
1	0,027	0,01	2	6	5	18
		0,02	2	5	1	3
10	0,048	0,01	0,3	1	0,2	0,6
		0,02	0,3	1	0,2	0,6
100	0,08	0,01	0,05	0,2	0,03	0,1
		0,02	0,05	0,2	0,03	0,1

Tabel 1.6. : Quality of drainage

Quality of drainage	Water removed within
Excellent	2 jam
Good	1 hari
Fair	1 minggu
Poor	1 bulan
Very poor	Air tidak terbebaskan

a. Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk kedalam pondasi jalan, relatif kecil berdasar hidrologi yaitu berkisar 70 – 95 % air

yang jatuh di atas jalan beton akan masuk ke sistem drainase *(sumber : BINKOT Bina Marga & Hidrologi Imam Subarkah)*.

b. Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, akan relatif kecil terjadi, jika adanya road side ditch, bahu yang dibentuk dengan crossfall lebih dari 4 % (atau diperkeras) dan cross drain.

c. Pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari (atau kurang) dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama 1 minggu.

Dan prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut :

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100$$

dimana :

P_{heff} = Prosen hari effective hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (dalam %).

T_{jam} = Rata-rata hujan per hari (jam).

T_{hari} = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari)

W_L = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)

Contoh pendekatan & asumsi :

T_{jam} = 3 jam per hari

T_{hari} = 40 % x 365 hari = 146 hari hujan dalam setahun

W_L = ambil 17,5 % *(lihat butir 4.6.3.a.)*

$$P_{heff} = \frac{3}{24} \times \frac{146}{365} \times 0{,}175 \times 100 = 0{,}88\ \% \ < \ 1\ \%$$

Sehingga dengan dasar justifikasi teknis dan pendekatan tersebut diatas, maka dapat digunakan angka persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat saturated sebesar < 1 %.

Untuk kondisi khusus, yaitu sistem drainase jalan sangat buruk, badan jalan sering tergenang, penentuan drainage coefficient perlu dikaji secara khusus.

Drainage coefficient (m_i) ditunjukkan seperti pada *Tabel 1.7. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-25).*

Tabel 1.7. : Drainage coefficient (m_i).

	Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
Quality of drainage	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excellent	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Good	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Fair	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Poor	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Very poor	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Contoh penetapan parameter drainage coefficient (m_i) :

- Berdasar waktu untuk mematus : 0,2 hari
- Berdasar kualitas drainase *: Good – Excellent,* ambil *Good*
- Kondisi *Time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation* dalam setahun : < 1 %

Maka desain parameter drainage coefficient diambil : m_i = 1,30

1.7 LAYER COEFFICIENT

1.7.1 LAYER COEFFICIENT AC WEARING COURSE & BINDER COURSE

- Marshall stability = 1.100 kg = 2.423 lb
- Elastic / resilient modulus : $E_{AC} \geq 450.000$ psi *(diambil dari AASHTO 93 hal. II-17)*
- Structural layer coefficient : a_i = 0,42 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-18).*

1.7.2 LAYER COEFFICIENT ASPHALT TREATED BASE

- Marshall stability = 900 kg = 1.982 lb

- Structural layer coefficient : a_i = 0,33 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-24).*

1.7.3 LAYER COEFFICIENT AGREGAT BASE KELAS A

- CBR = 80
- Structural layer coefficient : a_i = 0,14 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21).*

1.7.4 LAYER COEFFICIENT AGREGAT BASE KELAS B

- CBR = 40
- Structural layer coefficient : a_i = 0,12 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-21).*

1.7.5 LAYER COEFFICIENT CEMENT TREATED BASE

- Kuat tekan pada umur 7 hari = 78 kg/cm2 = 1.100 psi *(specified).*
- Structural layer coefficient : a_i = 0,26 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-23).*

1.8 STRUCTURAL NUMBER

$$SN = \sum a_i \times D_i = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$

dimana :

SN = Structural Number
a_i = Layer coefficient
D_i = Tebal masing-masing lapis perkerasan (inchi).
m_2, m_3 = Drainage coefficient lapisan base dan subbase.

a. **Structure Number 1**

- Resilient modulus base (bahan : sesuai yang direncanakan).
- Serviceability loss : ΔPSI_{tr}

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

b. **Structure Number 2**

- Resilient modulus Subbase (bahan : sesuai yang direncanakan).

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

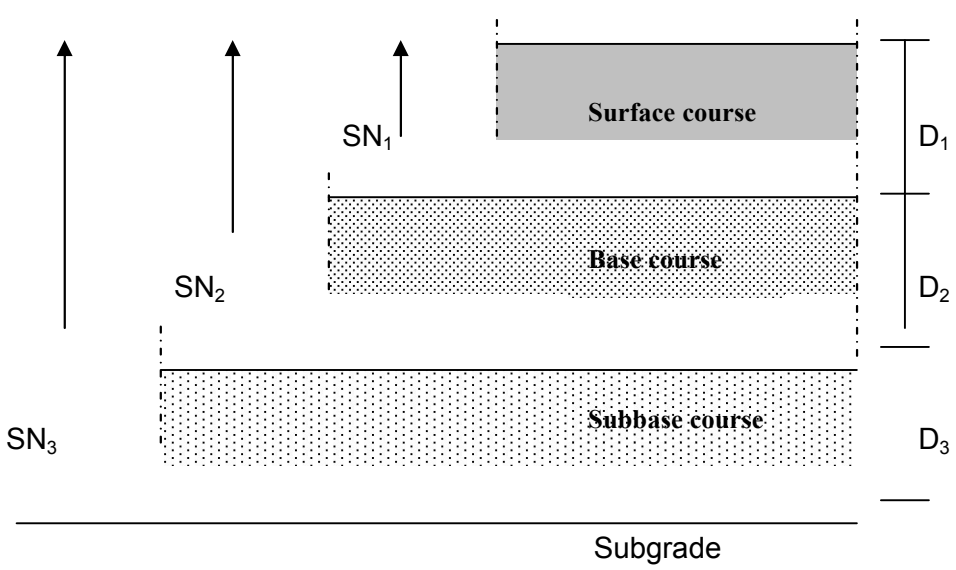
SN^* = Structure Number lapisan perkerasan yang terpasang.

c. **Structure Number 3**

$$SN_3 = SN - SN_1^* - SN_2^*$$

$$D_3 = \frac{SN_3}{a_3 . m_3}$$

Prosedur penentuan tebal lapisan perkerasan lihat *Gambar 4.8.* dibawah ini.



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

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

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

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

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

Gambar 1.2.

1.9 TEBAL MINIMUM LAPIS PERKERASAN

Tebal minimum masing-masing lapis perkerasan mengacu pada *Tabel 1.9*. *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-35).*

Tabel 1.9. : Tebal minimum.

Traffic, ESAL	Asphalt Concrete	Aggregate Base
< 50.000	1,0 inch	4,0 inch
50.001 – 150.000	2,0 inch	4,0 inch
150.001 – 500.000	2,5 inch	4,0 inch
500.001 – 2.000.000	3,0 inch	6,0 inch
2.000.001 – 7.000.000	3,5 inch	6,0 inch
> 7.000.000	4,0 inch	6,0 inch

1.10. PERSAMAAN DASAR PERKERASAN LENTUR

$$\log_{10} W_{18} = Z_R\, S_o + 9{,}36 \log_{10}(SN+1) - 0{,}2 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right]}{0{,}4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32 \times \log_{10} M_R - 8{,}07$$

dimana :

W_{18} = Jumlah beban ekivalen (ESAL).

Z_R = Standar deviasi normal.

S_o = Standar gabungan kesalahan dari lalu-lintas dan perkiraan performance.

ΔPSI = Perbedaan antara desain awal kemampu-layanan untuk p_o dan desain terminal serviceability index.

M_R = Resilient modulus tanah dasar (psi).

SN = Structural Number.

1.11. STAGE CONSTRUCTION

1. **Pentahapan**

   Pentahapan stage construction berdasar pendekatan / asumsi sebagai berikut :

   - Lapis pondasi agregat base kelas B dan kelas A di-desain mengacu pada umur rencana. Dengan pertimbangan bahwa additional overlay akan menjadikan peninggian terhadap hotmix, tidak diperuntukkan pertebalan lapisan pondasi jalan.
   - Additional overlay sebagai stage construction di-desain hanya untuk pemenuhan structure number untuk umur sisa.

2. **Realibility**

   Jalan dengan lalu-lintas berat pada daerah rural. Untuk perencanaan keseluruhan, Realibility diambil R = 90 %.

   Untuk strategi stage construction, maka desain realibility untuk setiap tahap adalah $\sqrt{0{,}90}$ = 95 %.

3. **Remaining life (RL) dan pavement condition factor (CF)**

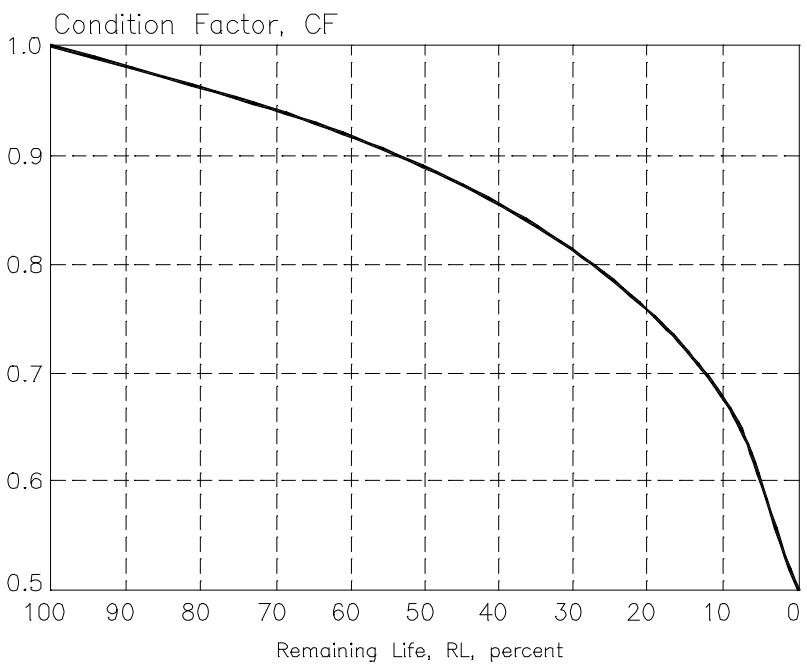
$$RL = 100 \times \left[1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right]$$

RL = Remaining life (%)

N_p = Total traffic saat overlay, ESAL

$N_{1,5}$ = Total traffic pada kondisi perkerasan berakhir (failure), ESAL

Condition factor (CF), menggunakan *Gambar 1.3. (diambil dari Figure 5.2. AASHTO 1993 halaman III-90).* Atau formula : $CF = R_L{}^{0,165}$



Gambar 1.3. : Hubungan Condition Factor dan Remaining Life.

4. **Desain additional overlay**

$SN_{eff} = CF \times SN_o$

$SN_{ol} = SN_f - SN_{eff}$

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{ol}}$$

di mana :

SN_{eff} = Structural Number efektip perkerasan yang ada saat overlay.

CF = Condition factor.

SN_o = Structural Number perkerasan awal *(original structural number).*

SN_{ol} = Structural Number yang diperlukan untuk overlay.

SN_f = Structural Number yang diperlukan untuk traffic masa layan.

a_{ol} = Structural coefficient AC overlay.

D_{ol} = Tebal overlay yang diperlukan (inches).

1.12. PARAMETER DESAIN DAN DATA

Untuk memudahkan perhitungan, parameter desain dan data untuk perencanaan flexible pavement tersebut diatas disajikan seperti pada *Tabel 1.10.*

Tabel 1.10. : Parameter dan data yang digunakan dalam perencanaan.

No.	Parameter	AASHTO	Desain
1.	Lalu-lintas, ESAL : UR =	-	
2.	- Terminal serviceability (p_t)	2,0 – 3,0	
3.	- Initial serviceability (p_o)	4,2	
4.	- Serviceability loss (ΔPSI)	$p_o - p_t$	
5.	- Reliability (R)		
6.	- Standard normal deviation (Z_R)		
7.	- Standard deviation (S_o)	0,40 – 0,50	
8.	- Resilient modulus tanah dasar (M_R)	Berdasar CBR =	
9.	- Resilient modulus agregat kelas B (M_R)	Berdasar CBR =	
10.	- Resilient modulus agregat kelas A (M_R)	Berdasar CBR =	
11.	- Resilient modulus ATB (M_R)	Berdasar MS =	
12.	- Elastic (resilient) modulus AC (E_{AC})	450.000 psi	
13.	- Layer coeff. AC surface course (a_1)	Berdasar E_{AC} = 450.000 psi	
14.	- Layer coeff. ATB (a_{21})	Berdasar MS =	
15.	- Layer coeff. CTB (a_{22})	Berdasar : $f'c_7$ =	
16.	- Layer coeff. Agregat base kelas A (a_{22})	Berdasar CBR =	
17.	- Layer coeff. Agregat base kelas B (a_3)	Berdasar CBR =	
18.	- Tebal minimum Asphalt Concrete	4 inch	
19.	- Tebal minimum Aggregate Base	6 inch	
20.	Drainage coefficient (m_i)		

BAB II
PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN METODE AASHTO

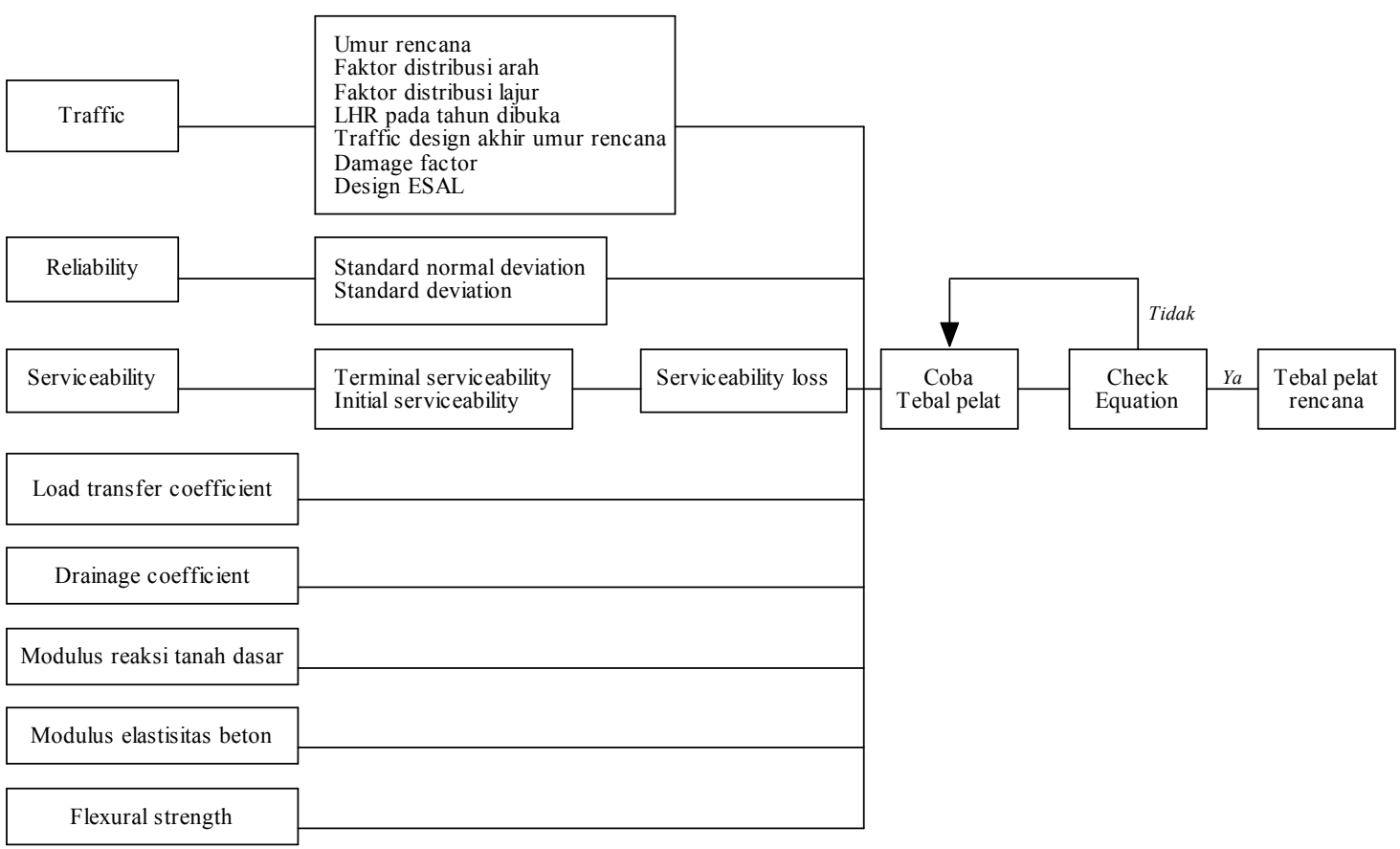
2.1. UMUM

Perencanaan mengacu pada ***AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993***. Langkah-langkah praktis, prosedur dan parameter-parameter perencanaan diberikan sebagai berikut dibawah ini.
Parameter perencanaan terdiri dari 13 parameter :

- Umur rencana
- Equivalent Single Axle Load
- Terminal serviceability index
- Initial serviceability
- Serviceability loss
- Reliability
- Standar normal deviasi
- Standar deviasi
- Modulus reaksi tanah dasar
- Modulus elastisitas beton
- Flexural strength
- Drainage coefficient
- Load transfer coefficient

Bagan alir prosedur perencanaan diperlihatkan seperti pada *Gambar 2.1.*

BAGAN ALIR PROSEDUR PERENCANAAN RIGID PAVEMENT (AASHTO 1993)



Gambar 2.1.

2.2. TRAFFIC

Data dan parameter lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan meliputi :

- Jenis kendaraan.
- Volume lalu-lintas harian rata-rata.
- Pertumbuhan lalu-lintas tahunan.
- Damage factor.
- Umur rencana
- Faktor distribusi arah.
- Faktor distribusi lajur.
- Equivalent Single Axle Load, ESAL selama umur rencana *(traffic design).*

Faktor distribusi arah : D_D = 0,3 – 0,7 dan umumnya diambil 0,5 *(AASHTO 1993 hal. II-9)*.

Faktor distribusi lajur (D_L), mengacu pada *Tabel 2.1.*

Tabel 2.1. : Faktor distribusi lajur (D_L).

Jumlah lajur setiap arah	D_L (%)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber : AASHTO 1993 halaman II-9.

Rumus umum desain traffic *(ESAL = Equivalent Single Axle Load)* :

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times DF_j \times D_A \times D_L \times 365$$

di mana :

W_{18} = Traffic design pada lajur lalu-lintas, Equivalent Single Axle Load.

LHR_j = Jumlah lalu-lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j.

DF_j = Damage factor untuk jenis kendaraan j.

D_A = Faktor distribusi arah.

D_L = Faktor distribusi lajur.

N1 = Lalu-lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

Nn = Lalu-lintas pada akhir umur rencana.

2.3. RELIABILITY

Reliability : Probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya.

Penetapan angka Reliability dari 50 % sampai 99,99 % menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi reliability yang dipakai semakin tinggi tingkat mengatasi kemungkinan terjadinya selisih (deviasi) desain dan kenyataan. Besaran-besaran desain yang terkait dengan ini antara lain :

- Peramalan kinerja perkerasan.
- Peramalan lalu-lintas.
- Perkiraan tekanan gandar.
- Pelaksanaan konstruksi.

1. Kinerja perkerasan diramalkan pada angka desain ***Terminal Serviceability*** p_t = 2,5 (untuk jalan raya utama), p_t = 2,0 (untuk jalan lalu-lintas rendah), dan ***Initial Serviceability*** p_o = 4,5 (angka ini bergerak dari 0 – 5).
2. Peramalan lalu-lintas dilakukan dengan studi tersendiri, bukan hanya didasarkan rumus empirik. Tingkat kehandalan jauh lebih baik dibandingkan bila dilakukan secara empiris, linear, atau data sekunder.

3. Perkiraan tekanan gandar yang diperoleh secara primer dari WIM survey, tingkat kehandalannya jauh lebih baik dibanding menggunakan data sekunder.
4. Dalam pelaksanaan konstruksi, spesifikasi sudah membatasi tingkat / syarat agar perkerasan sesuai (atau lebih) dari apa yang diminta desain. Bahkan desain merupakan syarat minimum dalam spesifikasi.

Mengkaji keempat faktor diatas, penetapan besaran dalam desain sebetulnya sudah menekan sekecil mungkin penyimpangan yang akan terjadi. Tetapi tidak ada satu jaminan-pun berapa besar dari keempat faktor tersebut menyimpang.

Reliability (R) mengacu pada *Tabel 2.2. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-9),* *standard normal deviate* (Z_R) mengacu pada *Tabel 2.3. (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).*

Tabel 2.2. : Reliability (R) disarankan.

Klasifikasi jalan	Reliability : R (%)	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Tabel 2.3. : Standard normal deviation (Z_R).

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

Standard deviation untuk rigid pavement : S_o = 0,30 – 0,40 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).*

Catatan : Untuk menggunakan besaran-besaran dalam standar AASHTO ini sebenarnya dibutuhkan suatu rekaman data, evaluasi desain / kenyataan beserta biaya konstruksi dan pemeliharaan dalam kurun waktu yang cukup. Dengan demikian besaran parameter yang dipakai tidak selalu menggunakan “angka tengah” sebagai kompromi besaran yang diterapkan.

Penetapan konsep Reliability dan Standar Deviasi :

Berdasarkan uraian konsep penetapan reliability diatas, parameter reliability dapat ditentukan sebagai berikut :

- Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan
- Berdasar status lokasi jalan urban / rural
- Penetapan tingkat Reliability (R)
- Penetapan standard normal deviation (Z_R)
- Penetapan standar deviasi (S_o)
- Kehandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan

2.4. SERVICEABILITY

Terminal serviceability index (p_t) mengacu pada *Tabel 2.4. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-10).*

Initial serviceability untuk rigid pavement : p_o = 4,5 *(diambil dari AASHTO 1993 hal. II-10).*

Total loss of serviceability : $\Delta PSI = p_o - p_t$

Tabel 2.4. : Terminal serviceability index (p_t).

Percent of people stating unacceptable	p_t
12	3,0
55	2,5
85	2,0

Penetapan parameter serviceability :

- Initial serviceability : p_o = 4,5
- Terminal serviceability index Jalur utama (major highways) : p_t = 2,5
- Terminal serviceability index Jalan lalu-lintas rendah : p_t = 2,0
- Total loss of serviceability :

  $\Delta PSI = p_o - p_t$

2.5. MODULUS REAKSI TANAH DASAR

Modulus of subgrade reaction (k) menggunakan gabungan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasar ketentuan CBR tanah dasar.

M_R = 1.500 x CBR

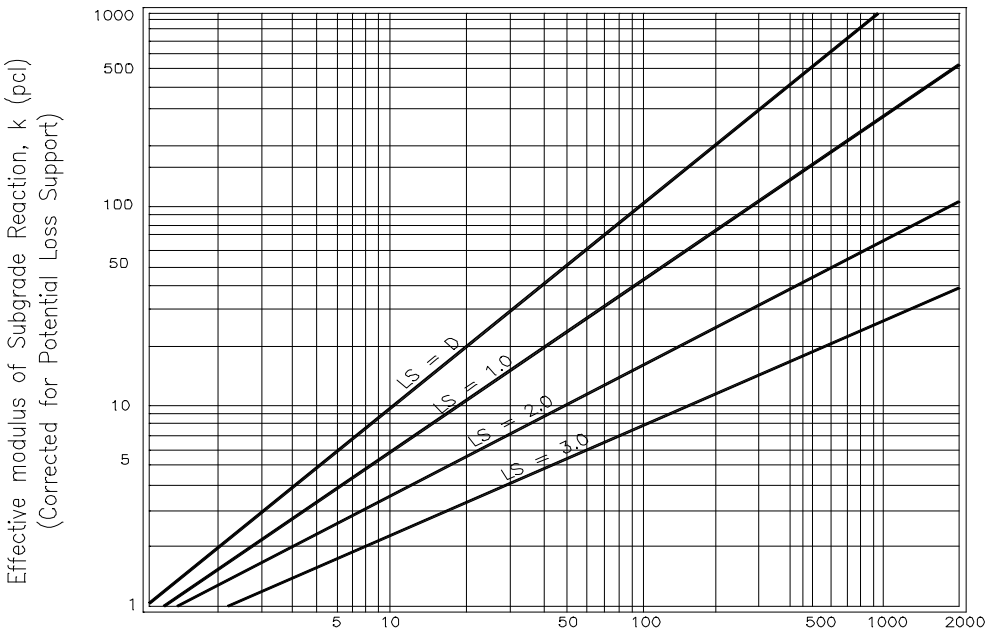
$$k = \frac{M_R}{19{,}4}$$

M_R = Resilient modulus.

Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction*, menggunakan Grafik pada *Figure 3.6. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-42) : lihat Gambar 2.2.*
Faktor *Loss of Support* (LS) mengacu pada *Tabel 2.5. (AASHTO 1993 halaman II-27).*

Tabel 2.5. : Loss of Support Factors (LS).

No.	Tipe material	LS
1.	Cement Treated Granular Base (E = 1.000.000 – 2.000.000 psi)	0 – 1
2.	Cement Aggregate Mixtures (E = 500.000 – 1.000.000 psi)	0 – 1
3.	Asphalt Treated Base (E = 350.000 – 1.000.000 psi)	0 – 1
4.	Bituminous Stabilized Mixtures (E = 40.000 – 300.000 psi)	0 – 1
5.	Lime Stabilized (E = 20.000 – 70.000 psi)	1 – 3
6.	Unbound Granular Materials (E = 15.000 – 45.000 psi)	1 – 3
7.	Fine grained / Natural subgrade materials (E = 3.000 – 40.000 psi)	2 – 3

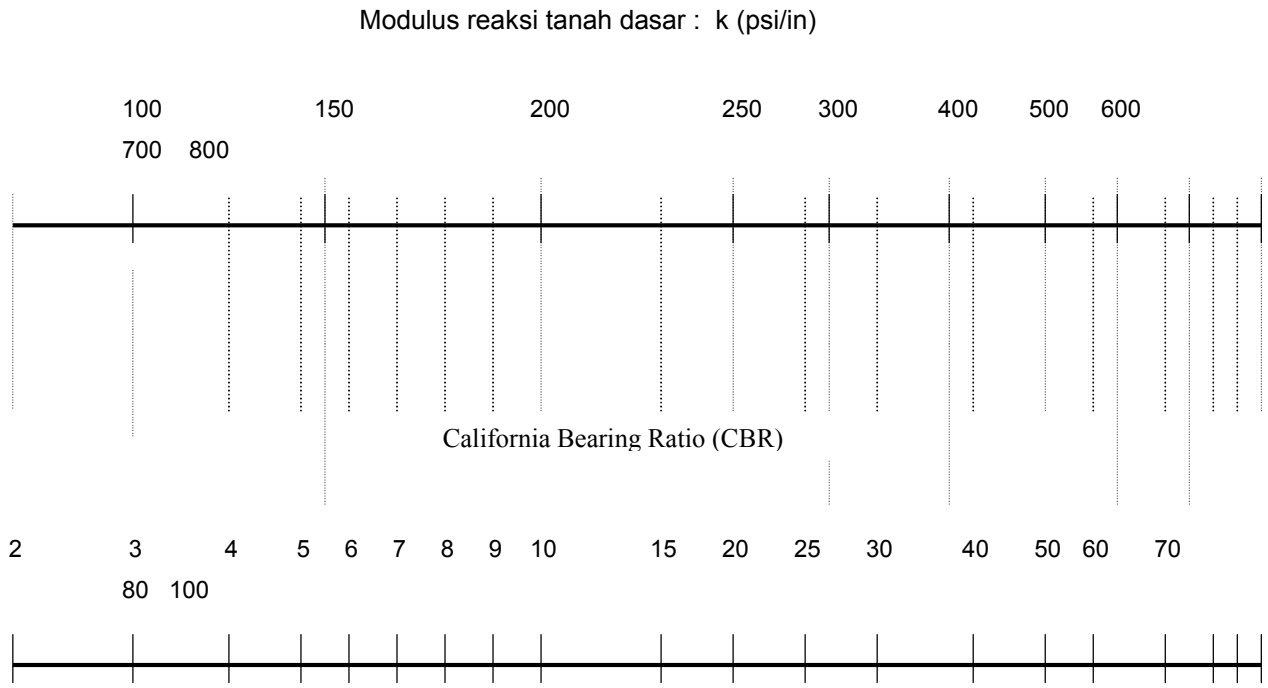


Correction of Effective modulus of Subgrade Reaction for Potensial Loss Subbase Support (6)

Gambar 2.2.

Pendekatan nilai modulus reaksi tanah dasar dari referensi / literartur :

Pendekatan nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k) dapat menggunakan hubungan nilai CBR dengan k seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.3.* Diambil dari literartur *Highway Engineering (Teknik Jalan Raya),* Clarkson H Oglesby, R Gary Hicks, Stanford University & Oregon State University, 1996.



Gambar 2.3. : Hubungan antara (k) dan (CBR), *sumber : Portland Cement Assocoation*.

Contoh penetapan parameter modulus reaksi tanah dasar (k) :

Untuk : CBR = 6

$$k = \frac{M_R}{19,4} = \frac{1.500 \times CBR}{19,4} = \frac{1.500 \times 6}{19,4} = 464 \text{ pci}$$

- Lapis subbase : Cement aggregate mixture
- Loss of Support : LS = 1

Koreksi Effective Modulus of Subgrade Reaction, menggunakan Grafik pada *Figure 3.6. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-42).*didapat :

k = 160 pci

2.6. MODULUS ELASTISITAS BETON

$$E_c = 57.000\sqrt{f_c'}$$

di mana :

E_c = Modulus elastisitas beton (psi).

f_c' = Kuat tekan beton, silinder (psi).

Kuat tekan beton f_c' ditetapkan sesuai pada Spesifikasi pekerjaan.

Contoh penetapan parameter modulus elastisitas beton :

1. Contoh berdasar Spesifikasi Umum Volume II, Jalan Tol Cikampek – Padalarang halaman SU10 – 4 (tahun 2001) :

   f_c' = 375 kg/cm^2

   1 kg/cm^2 = 14,22 psi

   f_c' = 375 kg/cm^2 = 5.333 psi

   $E_c = 57.000\sqrt{f_c'} = 57.000\sqrt{5.333} =$ 4.162.366 psi

   dibulatkan E_c = 4.200.000 psi.

   atau : E_c = 292.712 kg/cm^2 ; dibulatkan E_c = 300.000 kg/cm^2

2. Contoh berdasar Spesifikasi Teknis Buku III, Bab 6.4. artikel 6.4.3.(3), Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta (tahun 2003) :

   Beton : K 350 (kubus 15 cm)

   Silinder 15 x 30 cm : f_c' = 300 kg/cm^2 = 4.266 psi

   $E_c = 57.000\sqrt{f_c'} = 57.000\sqrt{4.266} =$ 3.700.000 psi (dibulatkan).

   atau : E_c = 261.810 kg/cm^2 ; dibulatkan E_c = 260.000 kg/cm^2

2.7. FLEXURAL STRENGTH

Berdasar Spesifikasi Umum Volume II, Jalan Tol Cikampek – Padalarang halaman SU10 – 4 (tahun 2001) :

Flexural strength (modulus of rupture) : S_c' = 45 kg/cm^2 = 640 psi.

2.8. LOAD TRANSFER

Load transfer coefficient (J) mengacu pada *Tabel 2.6. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-26), dan AASHTO halaman III-132.*

Tabel 2.6. : Load transfer coefficient.

Shoulder	Asphalt		Tied PCC	
Load transfer devices	Yes	No	Yes	No
Pavement type				
1. Plain jointed & jointed reinforced	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
2. CRCP	2.9 – 3.2	N/A	2.3 – 2.9	N/A

Contoh penetapan parameter load transfer :

- Joint dengan dowel : J = 2,5 – 3,1 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman II-26).*
- Untuk overlay design : J = 2,2 – 2,6 *(diambil dari AASHTO 1993 halaman III-132).*

2.9. DRAINAGE COEFFICIENT

2.9.1. VARIABEL FAKTOR DRAINASE

AASHTO memberikan 2 variabel untuk menentukan nilai koefisien drainase.

- Variabel pertama : mutu drainase, dengan variasi excellent, good, fair, poor, very poor. Mutu ini ditentukan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan.
- Variabel kedua : persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati jenuh air *(saturated),* dengan variasi < 1 %, 1 – 5 %, 5 – 25 %, > 25 %

2.9.2. PENETAPAN VARIABLE MUTU DRAINASE

Penetapan variable pertama mengacu pada *Tabel 2.7. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-22),* dan dengan pendekatan sebagai berikut :

a. Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk kedalam pondasi jalan, relatif kecil berdasar hidrologi yaitu berkisar 70 – 95 % air yang jatuh di atas jalan aspal / beton akan masuk ke sistem drainase *(sumber : BINKOT Bina Marga & Hidrologi Imam Subarkah)*.
b. Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke pondasi jalan, inipun relatif kecil terjadi, karena adanya road side ditch, cross drain, juga muka air tertinggi terletak di bawah subgrade.
c. Pendekatan dengan lama dan frekuensi hujan, yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama 1 minggu.

Maka waktu pemutusan 3 jam (bahkan kurang bila memperhatikan butir b.) dapat diambil sebagai pendekatan dalam penentuan kualitas drainase, sehingga pemilihan mutu drainase adalah antara ***Good – Excelent.***

Untuk kondisi khusus dapat dilakukan kajian tersendiri.

Tabel 2.7. : Quality of drainage.

Quality of drainage	Water removed within
Excellent	2 jam
Good	1 hari
Fair	1 minggu
Poor	1 bulan
Very poor	Air tidak terbebaskan

2.9.3. PENETAPAN VARIABLE PROSEN PERKERASAN TERKENA AIR

Penetapan variable kedua yaitu persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat *saturated*, relatif sulit, belum ada data rekaman pembanding dari jalan lain, namun dengan pendekatan-pendekatan, pengamatan dan perkiraan berikut ini, nilai dari faktor variabel kedua tersebut dapat didekati.

- Pada jalan tol : Perancangan subgrade adalah mengganti material eksisting dengan borrow material pada daerah galian dan timbunan, maka kemungkinan kemasukan air sangat kecil, kemungkinan hanya perembesan dari rounding, sisi luar bahu luar yang berupa solid sodding dan hanya pada saat hujan saja. Inipun tidak membolehkan air sampai terkurung di struktur dalam perkerasan. Lapis pondasi bawah diteruskan sampai ke lereng.
- Berdasar seperti pada butir nomer 9.2.a –9.2.b –9.2.c. di atas.

Dan prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut :

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100$$

dimana :

P_{heff} = Prosen hari effective hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (dalam %).
T_{jam} = Rata-rata hujan per hari (jam).
T_{hari} = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari)
W_L = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)

Selanjutnya drainage coefficient *diambil dari AASHTO 1993 halaman II–26*. Drainage coefficient (C_d) mengacu pada *Tabel 2.8.*

Tabel 2.8. : Drainage coefficient (C_d).

	Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
Quality of drainage	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excellent	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Good	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Fair	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Poor	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Very poor	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Contoh pendekatan & asumsi penetapan variable prosen perkerasan terkena air :

T_{jam} = 3 jam per hari

T_{hari} = 40 % x 365 hari = 146 hari hujan dalam setahun

W_L = ambil 17,5 % *(lihat butir 7.9.2.a.)*

$$P_{heff} = \frac{3}{24} \times \frac{146}{365} \times 0{,}175 \times 100 = 0{,}88\ \% \ < \ 1\ \%$$

Sehingga dengan dasar justifikasi teknis dan pendekatan tersebut diatas, maka dapat digunakan angka persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat *saturated* sebesar < 1 %.

Contoh penetapan parameter drainage coefficient

- Berdasar kualitas drainase *: Good - Excellent*
- Kondisi *Time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation* dalam setahun : < 1 %

Drainage coefficient : C_d = 1,20

2.10. PERSAMAAN PENENTUAN TEBAL PELAT (D)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R\ S_o + 7{,}35 \log_{10}(D+1) - 0{,}06 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4{,}5-1{,}5}\right]}{1+\frac{1{,}624\times 10^7}{(D+1)^{8{,}46}}} +$$

$$(4{,}22 - 0{,}32\, p_t)\times \log_{10}\frac{S_c'\ C_d \times \left[D^{0{,}75} - 1{,}132\right]}{215{,}63 \times J \times \left[D^{0{,}75} - \frac{18{,}42}{(E_c : k)^{0{,}25}}\right]}$$

di mana :

W_{18} = Traffic design, Equivalent Single Axle Load (ESAL).

Z_R = Standar normal deviasi.

S_o = Standar deviasi.

D = Tebal pelat beton (inches).

ΔPSI = Serviceability loss = $p_o - p_t$

p_o = Initial serviceability.

p_t = Terminal serviceability index.

S_c' = Modulus of rupture sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).

C_d = Drainage coefficient.

J = Load transfer coefficient.

E_c = Modulus elastisitas (psi).

k = Modulus reaksi tanah dasar (pci).

2.11. PAREMETER DESAIN DAN DATA PERENCANAAN RIGID PAVEMENT

Parameter desain dan data untuk perencanaan dan kemudahan bagi perencana dalam menentukan tebal pelat beton rigid pavement, dapat disajikan seperti pada *Tabel 2.9.*

Tabel 2.9. : Parameter dan data yang digunakan dalam perencanaan.

No.	Parameter	AASHTO	Desain
1.	Umur Rencana	-	20 tahun
2.	Lalu-lintas, ESAL	-	
3.	Terminal serviceability (p_t)	2,0 – 3,0	2,5
4.	Initial serviceability (p_o)	4,5	4,5
5.	Serviceability loss (ΔPSI)	$p_o - p_t$	2
6.	Reliability (R)		
7.	Standard normal deviation (Z_R)		
8.	Standard deviation (S_o)	0,30 – 0,40	
9.	Modulus reaksi tanah dasar (k)	Berdasar CBR =	
10.	Modulus elastisitas beton (E_c)	Berdasar : f'c =	
11.	Flexural strength (S'_c)	Berdasar : S'c =	
12.	Drainage coefficient (C_d)		
13.	Load transfer coefficient (J)		

2.12. DESAIN GABUNGAN RIGID & FLEXIBLE PAVEMENT

Perencanaan gabungan rigid & flexible pavement (composite) yang digunakan adalah pendekatan desain overlay hotmix diatas rigid pavement yang mengacu pada ***AASHTO guide for design of pavement structures 1993***.

Prosedur, parameter-parameter perencanaan mengikuti metode perencanaan Rigid Pavement diatas dengan gabungan formula overlay diatas rigid pavement tersebut, sebagai berikut ini.

$D_{ol} = A (D_f – D_{eff})$

$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f – D_{eff})^2 – 0,1534 (D_f – D_{eff})$

di mana :

D_{ol} = Tebal flexible pavement (inches).
D_f = Tebal total perkerasan rencana (inches).
D_{eff} = Tebal lapis pelat beton effective (inches).
A = Faktor konversi lapis perkerasan beton ke hotmix.

2.13. ADDITIONAL OVERLAY

Jika gabungan rigid & flexible pavement tersebut di-desain dengan konstruksi awal pelat beton dan kemudian di-overlay, maka perencanaan menjadi sebagai berikut :

1. **Konstruksi awal**

   Konstruksi awal digunakan rigid pavement tebal D cm, di-analisis equivalent standard axle load dan nilai umur rencana terhadap struktur perkerasan kaku D cm tersebut.

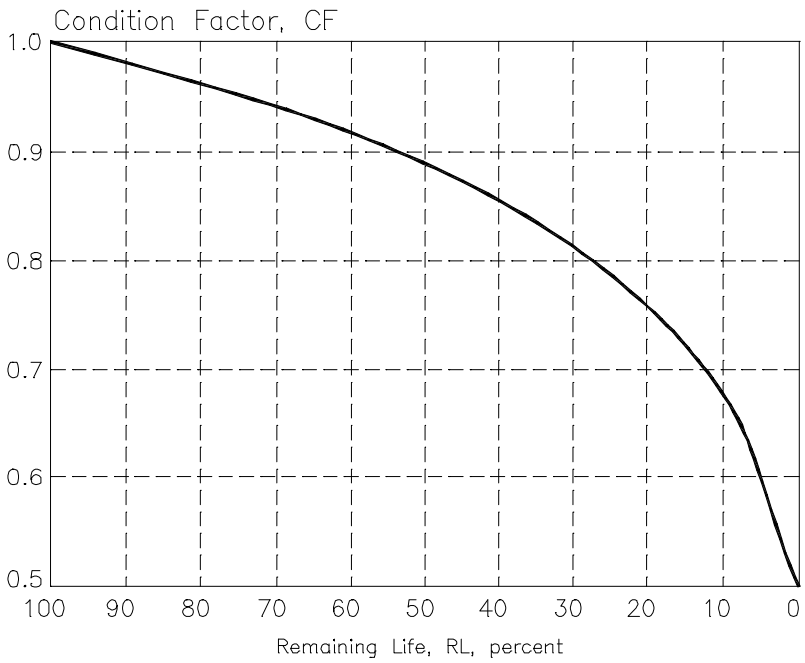
2. **Remaining life (RL) dan pavement condition factor (CF)**

$$R_L = 100 \times \left[1 - \frac{N_p}{N_{1,5}} \right]$$

   R_L = Remaining life (%)
   N_p = Total traffic saat overlay, ESAL
   $N_{1,5}$ = Total traffic pada kondisi perkerasan berakhir (failure), ESAL

   Condition factor (CF), menggunakan *Gambar 2.4. (diambil dari Figure 5.2. AASHTO 1993 halaman III-90).* Atau formula :

$$CF = R_L^{0,165}$$



Gambar 2.4. : Hubungan Condition Factor dan Remaining Life.

3. **Desain additional overlay**

Lihat sub-bab 7.12. diatas.

4. **Tinjauan kemampu-layanan**

a. **Kondisi pada akhir tahun ke N_p**

Pada akhir tahun ke-N_p diperkirakan kondisi kemampu-layanan perkerasan sebagai berikut :

- Tebal pelat rencana
- Tebal pelat effective
- Umur rencana
- ESAL design
- Terminal serviceability index = 2,5

b. **Kondisi pada akhir tahun ke $N_{1,5}$**

Pada akhir tahun ke-$N_{1,5}$ diperkirakan kondisi kemampu-layanan perkerasan sebagai berikut :

- Tebal pelat rencana
- Umur rencana
- ESAL design
- Serviceability index (failure) = 1,5

c. **Kondisi pada akhir tahun umur rencana**

Pada akhir tahun umur rencana diperkirakan kondisi kemampu-layanan perkerasan sebagai berikut :

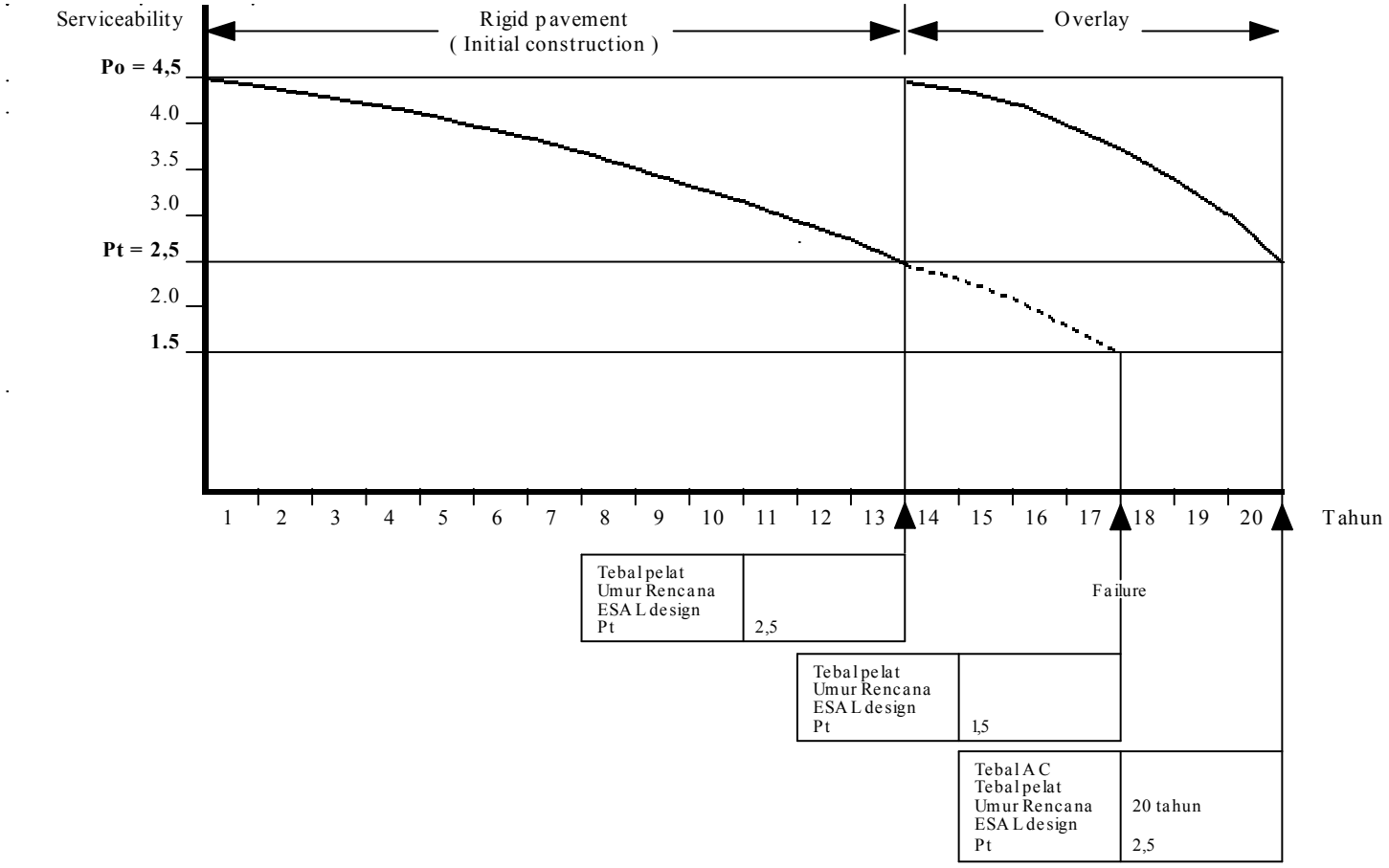
- Tebal overlay
- Tebal pelat
- Umur rencana = 20 tahun
- ESAL design
- Terminal serviceability index = 2,5

d. **Overlay**

Diperkirakan diperlukan overlay agar kondisi perkerasan tetap diatas nilai batas *terminal serviceability index* 2,5 sebelum menurun kemampu-layanannya menjadi 1,5 dan selanjutnya dapat mencapai umur rencana 20 tahun.

Kondisi kemampu-layanan perkerasan sebelum dan sesudah di-overlay digambarkan seperti pada *Gambar 2.5.*

KEMAMPU-LAYANAN RIGID PAVEMENT DAN ADDITIONAL OVERLAY



Gambar 2.5.

2.14. REINFORCEMENT DESIGN

2.14.1. STEEL WORKING STRESS

Allowable working stress f_s untuk grade 40 = 30.000 psi.

2.14.2. FRICTION FACTOR

Friction factor dapat mengacu pada *Tabel 2.9.*

Tabel 2.9. : Recommended friction factor.

Type material dibawah slab	Friction factor (F)
Surface treatment	2,2
Lime stabilization	1,8
Asphalt stabilization	1,8
Cement stabilization	1,8
River gravel	1,5
Crushed stone	1,5
Sandstone	1,2
Natural subgrade	0,9

Sumber : AASHTO 1993 halaman II-28.

2.14.3. LONGITUDINAL & TRANSVERSE STEEL REINFORCING

Prosen longitudinal & transverse steel diperlukan :

$$P_s = \frac{LF}{2f_s} \times 100$$

di mana :

P_s = Longitudinal & transverse steel diperlukan (%).

L = Panjang slab (feet).

f_s = Steel working stress (psi).

F = Friction factor.

2.14.4. TIE BAR

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

Jarak tie bar dapat mengacu pada *Tabel 2.10.*

Tabel 2.10. : Tie bar.

Jenis dan mutu baja	Tegangan kerja (psi)	Tebal perkerasan (in)	Diameter batang ½ in				Diameter batang 5/8 in			
				Jarak maximum (in)				Jarak maximum (in)		
			Panjang (in)	Lebar lajur 10 ft	Lebar lajur 11 ft	Lebar lajur 12 ft	Panjang (in)	Lebar lajur 10 ft	Lebar lajur 11 ft	Lebar lajur 12 ft
Grade 40	30.000	6	25	48	48	48	30	48	48	48
		7	25	48	48	48	30	48	48	48
		8	25	48	44	40	30	48	48	48
		9	25	48	40	38	30	48	48	48
		10	25	48	38	32	30	48	48	48
		11	25	35	32	29	30	48	48	48
		12	25	32	29	26	30	48	48	48

Sumber : Literartur UI.

2.14.5. DOWEL

Alat pemindah beban yang biasa dipakai adalah ***dowel baja bulat polos***. Syarat perancangan minimum dapat mengacu pada *Tabel 2.11.*

Tabel 2.11. : Rekomendasi dowel.

Tebal perkerasan (in)	Dowel diameter (in)	Panjang dowel (in)	Jarak dowel (in)
6	3/4	18	12
7	1	18	12
8	1	18	12
9	1 1/4	18	12
10	1 1/4	18	12
11	1 1/4	18	12
12	1 1/4	18	12

Sumber : Literartur UI.

Penentuan diameter dowel dapat menggunakan pendekatan formula :

$$d = \frac{D}{8}$$

dimana :

d = Diamater dowel (inches).

D = Tebal pelat beton (inches)

2.14.6. PARAMETER DESAIN DAN DATA REINFORCEMENT DESIGN

Parameter desain dan data untuk reinforcement design tersebut diatas disajikan seperti pada *Tabel 2.12.*

Tabel 2.12. : Parameter dan data yang digunakan dalam perencanaan.

No.	Parameter	AASHTO	Desain
1.	Steel working stress (fs) : grade 40		
2.	Friction factor (F)		
3.	Tebal pelat		
4.	Panjang pelat arah longitudinal		
5.	Traffic lane & shoulder wide		
6.	Jarak dari tepi bebas		

2.15. TINJAUAN KHUSUS PERENCANAAN PENULANGAN DAN SAMBUNGAN

Untuk perencanaan penulangan dan sambungan pada perkerasan jalan kaku, berikut ini diambilkan referensi dari beberapa standard dan literatur, yaitu dari sumber :

- Principles of pavement design by Yoder & Witczak 1975
- SNI 1991.
- SKBI 2.3.28.1988.

2.15.1. TATA CARA PERENCANAAN PENULANGAN

Tujuan dasar distribusi penulangan baja adalah bukan untuk mencegah terjadinya retak pada pelat beton tetapi untuk membatasi lebar retakan yang timbul pada daerah dimana beban terkonsentrasi agar tidak terjadi pembelahan pelat beton pada daerah retak tersebut, sehingga kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan.

Banyaknya tulangan baja yang didistribusikan sesuai dengan kebutuhan untuk keperluan ini yang ditentukan oleh jarak sambungan susut, dalam hal ini dimungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan.

1. Kebutuhan penulangan pada perkerasan bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan bersambung tanpa tulangan, penulangan tetap dibutuhkan untuk mengantisipasi atau meminimalkan retak pada tempat-tempat dimana dimungkinkan terjadi konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari.

Tipikal penggunaan penulangan khusus ini antara lain :

- Tambahan pelat tipis.
- Sambungan yang tidak tepat.
- Pelat kulah atau struktur lain.

2. Penulangan pada perkerasan bersambung dengan tulangan

Luas tulangan pada perkerasan ini dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$A_s = \frac{11{,}76\ F\ L\ h}{f_s}$$

di mana :

A_s = luas tulangan yang diperlukan (mm^2/m lebar)

F = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya *(Tabel 2.13.)*

L = jarak antara sambungan (m)

h = tebal pelat (mm)

f_s = tegangan tarik baja ijin (MPa)

A_s minimum menurut SNI 1991 untuk segala keadaan = 0,14 % dari luas penampang beton.

Tabel 2.13. : Koefisien gesekan antara pelat beton semen dengan lapisan pondasi dibawahnya.

Type material dibawah slab	Friction factor (F)
Burtu, Lapen dan konstruksi sejenis	2,2
Aspal beton, Lataston	1,8
Stabilisasi kapur	1,8
Stabilisasi aspal	1,8
Stabilisasi semen	1,8
Koral sungai	1,5
Batu pecah	1,5
Sirtu	1,2
Tanah	0,9

Sumber : SKBI 2.3.28.1988

3. Penulangan pada perkerasan menerus dengan tulangan

a. Penulangan memanjang

$$P_s = \frac{100\, f_t\, (1{,}3 - 0{,}2\, F)}{f_y - n\, f_t}$$

P_s = persentase tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap penampang beton (%).

f_t = kuat tarik lentur beton yang digunakan = 0,4 – 0,5 f_r

f_y = tegangan leleh rencana baja (SNI 1991. f_y < 400 MPa – BJTD40)

n = angka ekivalen antara baja dan beton = $\frac{E_s}{E_c}$ *(Tabel 7.15.1.3.)*

F = koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya *(Tabel 2.13.)*

E_s = modulus elastisitas baja (berdasarkan SNI 1991 digunakan 200.000 MPa)

E_c = modulus elastisitas beton (SNI 1991 digunakan 4700 $\sqrt{f_c'}$ MPa)

Tabel 2.14. : Hubungan antara kuat tekan beton dan angka ekivalen baja & beton (n) serta f_r.

f_c' (kg/cm^2)	f_c' (MPa)	n	f_r (MPa)
115	11,3	13	2,1
120 – 135	11,8 – 13,2	12	2,2
140 – 165	13,7 – 16,2	11	2,4
170 – 200	16,7 – 19,6	10	2,6
205 – 250	20,1 – 24,5	9	2,9
260 – 320	25,5 – 31,4	8	3,3
330 – 425	32,4 – 41,7	7	3,7
450	44,1	6	4,1

Sumber : SNI 1991

Persentase minimum tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6 % dari luas penampang beton.

Jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$L_{cr} = \frac{f_t^{\,2}}{n\, p^2\, u\, f_b \left(S E_c - f_t \right)}$$

L_{cr} = jarak teoritis antara retakan (m), jarak optimum antara 1 – 2 m.

p = luas tulangan memanjang per satuan luas.

f_b = tegangan lekat antara tulangan dengan beton yang dikenal sebagai lekat lentur (MPa). *Besaran lekat lentur yang dipakai dalam praktek menurut ACI 1963* untuk tulangan dengan diameter ≤ 35,7 mm (# 11) :

tegangan lekat dasar = $\frac{9,5}{d}\sqrt{f_c'} \leq 800$ psi

atau dalam SI unit :

tegangan lekat dasar = $\frac{0,79}{d}\sqrt{f_c'} \leq 5,5$ MPa

d = diameter tulangan (cm).

S = koefisien susut beton, umumnya dipakai antara 0,0005 – 0,0006 untuk pelat perkerasan jalan.

f_t = kuat tarik lentur beton yang digunakan = 0,4 – 0,5 f_r (MPa).

n = angka ekivalen antara baja dan beton = $\frac{E_s}{E_c}$ *(Tabel 7.15.1.3.)*

u = keliling penampang tulangan per satuan luas tulangan = $\frac{4}{d}$ (dalam m^{-1})

E_c = modulus elastisitas beton = 4700 $\sqrt{f_c'}$ (MPa)

b. **Penulangan melintang**

Luas tulangan melintang yang diperlukan pada perkerasan beton menerus, dihitung dengan persamaan yang sama seperti pada perhitungan penulangan perkerasan beton bersambung dengan tulangan.

2.15.2. SAMBUNGAN

Perencanaan ***sambungan*** pada perkerasan kaku, merupakan bagian yang harus dilakukan, baik jenis perkerasan beton bersambung tanpa atau dengan tulangan, maupun pada jenis perkerasan beton menerus dengan tulangan.

1. Jenis sambungan

Sambungan dibuat atau ditempatkan pada perkerasan beton dimaksudkan untuk menyiapkan tempat muai dan susut beton akibat terjadinya tegangan yang disebabkan : perubahan lingkungan (suhu dan kelembaban), gesekan dan keperluan konstruksi (pelaksanaan).

Sambungan pada perkerasan beton umumnya terdiri dari 3 jenis, yang fungsinya sebagai berikut :

a. **Sambungan susut**

Atau sambungan pada bidang yang diperlemah *(dummy)* dibuat untuk mengalihkan tegangan tarik akibat : suhu, kelembaban, gesekan sehingga akan mencegah retak. Jika sambungan susut tidak dipasang, maka akan terjadi retak acak pada permukaan beton.

b. **Sambungan muai**

Fungsi utamanya untuk menyiapkan ruang muai pada perkerasan, sehingga mencegah terjadinya tegangan tekan yang akan menyebabkan perkerasan tertekuk.

c. **Sambungan konstruksi (pelaksanaan)**

Diperlukan untuk kebutuhan konstruksi (berhenti dan mulai pengecoran). Jarak antara sambungan memanjang disesuaikan dengan lebar alat atau mesin penghampar *(paving machine)* dan oleh tebal perkerasan.

Selain 3 jenis sambungan tersebut, jika pelat perkerasan cukup lebar (> 7 m, kapasitas alat) maka diperlukan sambungan ke arah memanjang yang berfungsi sebagai penahan gaya lenting *(warping)* yang berupa sambungan engsel, dengan diperkuat ikatan batang pengikat (tie bar).

2. Geometrik sambungan

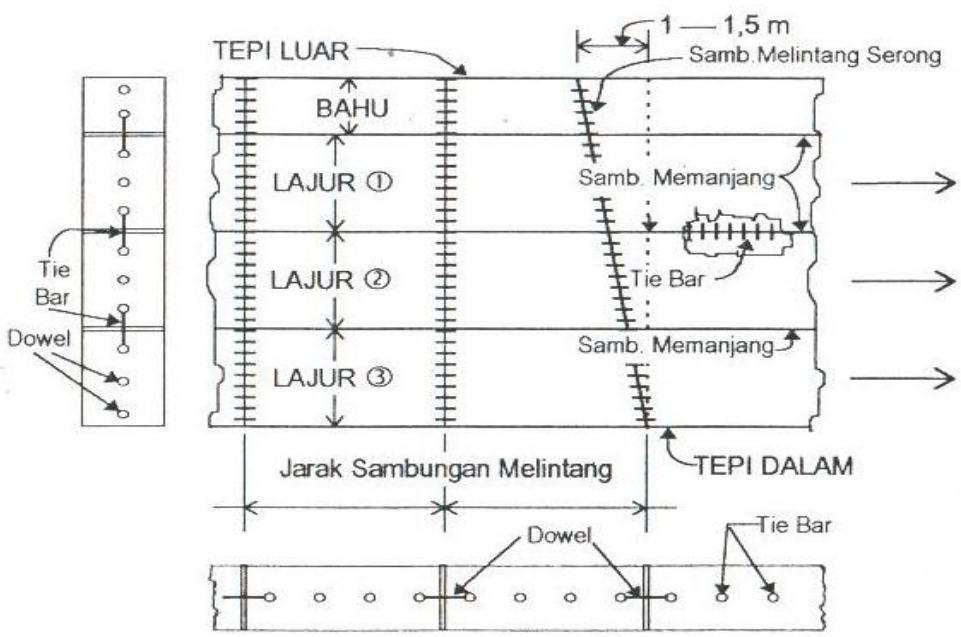
Geometrik sambungan adalah tata letak secara umum dan jarak antara sambungan.

a. **Jarak sambungan**

Pada umumnya jarak sambungan konstruksi memanjang dan melintang tergantung keadaan bahan dan lingkungan setempat, dimana sambungan muai dan susut sangat tergantung pada kemampuan konstruksi dan tata letaknya.

Untuk sambungan muai, jarak untuk mencegah retak sedang akan mengecil jika koefisien panas, perubahan suhu atau gaya gesek tanah dasar bertambah bila tegangan tarik beton bertambah. Jarak berhubungan dengan tebal pelat dan kemampuan daya ikat sambungan.

Untuk menentukan jarak sambungan yang akan mencegah retak, yang terbaik dilakukan dengan mengacu petunjuk dari catatan kemampuan pelayanan setempat. Pengalaman setempat penting diketahui karena perubahan jenis agregat kasar akan memberi dampak yang nyata pada koefisien panas beton dengan konsekuensi jarak sambungan yang dapat diterima.



Gambar 2.6. : Tata letak sambungan pada perkerasan kaku.

Sebagai petunjuk awal, jarak sambungan untuk beton biasa ≤ 2 h (dua kali tebal pelat beton dalam satuan berbeda, misalkan tebal pelat h = 8 inci, maka jarak sambungan = 16 feet, jadi kalau dengan SI unit jarak sambungan = 24 – 25 kali tebal pelat, misalkan tebal pelat 200 mm,

maka jarak sambungan = 4.800 mm) dan secara umum perbandingan antara lebar pelat dibagi panjang pelat ≤ 1,25

Penggunaan sambungan muai biasanya diminimalkan pada proyek dengan pertimbangan masalah biaya, kompleksitas dan penampilannya. Sambungan digunakan pada struktur dimana jenis perkerasan berubah (misalnya : dari jenis menerus ke jenis bersambung) pada persimpangan.

Jarak antara sambungan konstruksi, biasanya diatur pada penempatan di lapangan dan kemampuan peralatan. Sambungan konstruksi memanjang harus ditempatkan pada tepi lajur untuk memaksimalkan kerataan perkerasan dan meminimalkan persoalan pengalihan beban. Sambungan konstruksi melintang terjadi pada akhir pekerjaan atau pada saat penghentian pengecoran.

b. **Tata letak sambungan**

Sambungan menyerong atau acak (random), akan meminimalkan dampak kekasaran sambungan, sehingga dapat memperbaiki mutu pengendalian.

Sambungan melintang serong akan meningkatkan penampilan dan menambah usia perkerasan kaku, yaitu biasa atau bertulang, dengan atau tanpa ruji. Sambungan harus serong sedemikian agar beban roda dari masing-masing sumbu dapat melalui sambungan pada saat yang tidak bersamaan.

Sudut tumpul pada sisi luar perkerasan harus dibagian depan sambungan pada arah lalu-lintas, karena sudut akan menerima dampak beban roda terbesar secara tiba-tiba.

Keuntungan dari sambungan serong sebagai berikut :

- Mengurangi lendutan dan tegangan pada sambungan, sehingga menambah daya dukung beban pelat dan memperpanjang usia pelat.
- Mengurangi dampak reaksi kendaraan pada saat melintasi sambungan dan memberikan kenyamanan yang lebih.

Untuk lebih meningkatkan penampilan perkerasan biasa adalah dengan menggunakan sambungan serong pada jarak acak atau tidak teratur. Pola jarak acak mencegah irama atau resonansi pada kendaraan yang bergerak dalam kecepatan normal. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pola jarak pelat 2,50 m harus dihindarkan.

c. **Dimensi sambungan**

Lebar sambungan, ditentukan oleh alur yang akan diuraikan pada bagian bawah. Kedalaman takikan sambungan susut harus cukup memadai untuk memastikan akan terjadi retak pada tempat yang dikehendaki dan tidak pada sembarang tempat. Biasanya kedalaman takikan sambungan susut melintang ¼ tebal pelat dan sambungan memanjang 1/3 ketebalan.

Sambungan tersebut dibuat dengan pemotongan, penyelipan atau pembentukan. Waktu pemotongan sangat kritis untuk mencegah retak acak sehingga sambungan harus dipotong dengan hati-hati untuk memastikan semuanya bekerja bersamaan. Jarak waktu untuk pengecoran dengan pemotongan akan berubah dengan perubahan suhu pelat, keadaan pengeringan dan proporsi campuran.

3. Dimensi bahan penutup sambungan

a. **Sambungan susut**

Pergerakan sambungan dan kemampuan bahan penutup alur harus dioptimalkan. Pada umumnya mutu bahan penutup sambungan harus ditingkatkan jika pergerakan sambungan diperkirakan akan bertambah. Bertambahnya pergerakan sambungan dapat diakibatkan oleh perpanjangan pelat, perubahan suhu yang besar dan atau koefisien panas beton yang tinggi.

Pergerakan sambungan pada perkerasan dipengaruhi faktor-faktor seperti perubahan sifat volume panjang beton dan gesekan antara pelat dan pondasi bawah (tanah dasar).

Dalam hal untuk menjaga bentuk penutup-lapangan yang efektif, lubang alur (takikan) yang akan diisi bahan penutup harus mempunyai faktor

bentuk (lebar dan dalam) yang benar. Dalam batasan praktis, kedalaman sambungan minimum lubang harus mendekati segiempat dan berada dibawah permukaan minimum 3 mm (1/8 inci). Dengan demikian berarti takikan biasanya dibentuk dengan menambah lebar dan mengurangi kedalaman bagian atas sambungan untuk mengikat bahan penutup. Untuk sambungan yang sempit dengan jarak sambungan yang dekat, lubang dapat dibentuk dengan menyisipkan tali atau bahan lain sampai kedalaman yang telah ditentukan. Metoda ini mengurangi kebutuhan bahan penutup. Pada umumnya dalam berbanding lebar berkisar 1 – 1,5 dengan kedalaman minimum 9,5 mm (3/8 inci) untuk sambungan memanjang dan 12,5 mm (1/2 inci) untuk sambungan melintang.

Lebar sambungan didefinisikan sebagai nilai maximum yang terjadi pada suhu minimum. Jadi nilai maximum meliputi pergerakan horisontal yang diantisipasi ditambah dengan lebar sisa disebabkan sifat bahan penutup. Pergerakan horisontal dapat dihitung dengan memperkirakan bukaan sambungan yang disebabkan siklus temperatur ditambah dengan penyusutan beton. Besarnya bukaan dan sebaliknya tergantung pada :

- perubahan temperatur dan kelembaban
- jarak antara sambungan kerja (pelaksanaan) atau retak
- gesekan antara lapis pondasi dan pelat
- kondisi dari rencana pemberian beban sambungan, dan sebagainya.

Untuk keperluan perencanaan bukaan sambungan melintang rata-rata pada selang waktu dapat dihitung dengan pendekatan. Lebar sambungan harus memperhitungkan pergerakan ditambah dengan tegangan sisa yang diijinkan pada penutup sambungan.

- Menurut AASHTO : disyaratkan lebar bukaan $\leq$ 0,04 inci untuk sambungan tanpa ruji (dowel).
- Menurut Yoder & Witczak : lebar bukaan $\leq$ 0,04 inci untuk sambungan tanpa dowel, lebar bukaan $\leq$ 0,25 inci untuk sambungan dengan dowel.
- Menurut SKBI 1988 : lebar bukaan retakan minimum (mm) = 0,45 x Panjang Pelat (m), umumnya lebar retakan yang diijinkan berkisar

antara 1 – 3 mm, tetapi untuk kemudahan pengisian bahan penutup, lebar bukaan pada bagian atas diperlebar maximum 6 – 10 mm dengan kedalaman tidak lebih dari 20 mm dan semua sambungan susut melintang harus dipasang ruji.

b. **Sambungan muai**

Pergerakan pada sambungan muai didasarkan pada pengalaman agen pembuat. Dimensi alur takikan akan optimal didasarkan pada pergerakan dan kemampuan bahan pengisi. Pada umumnya, dimensi akan lebih besar dari pada untuk sambungan susut.

c. **Sambungan pelaksanaan**

Menurut AASHTO, tipikal sambungan susut melintang juga dapat digunakan untuk sambungan pelaksanaan dan sambungan memanjang lainnya.

4. Dowel (ruji)

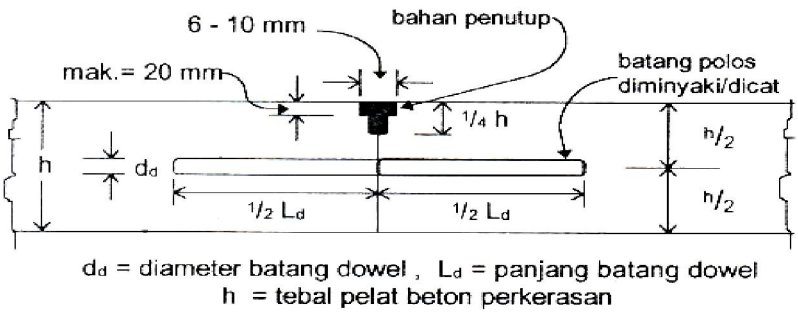
Dowel berupa batang baja tulangan polos (maupun profil), yang digunakan sebagai sarana penyambung / pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan.

Tabel 2.14. : Ukuran dan jarak batang dowel (ruji) yang disarankan.

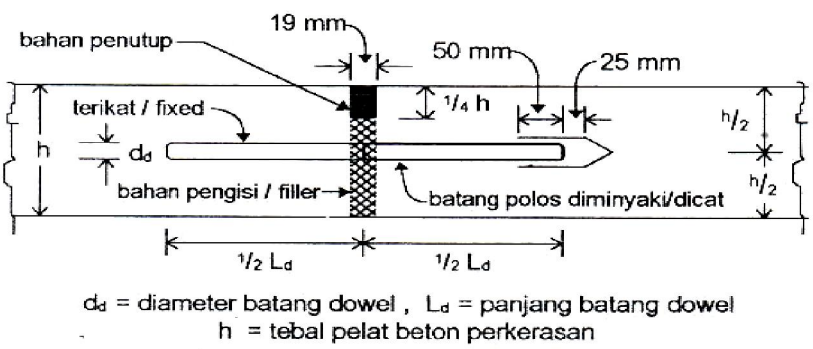
Tebal pelat perkerasan		Diameter dowel		Panjang dowel		Jarak dowel	
inci	mm	inci	mm	inci	mm	inci	mm
6	150	¾	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1¼	32	18	450	12	300
10	250	1¼	32	18	450	12	300
11	275	1¼	32	18	450	12	300
12	300	1½	38	18	450	12	300
13	325	1½	38	18	450	12	300
14	350	1½	38	18	450	12	300

Sumber : Principles of pavement design by Yoder & Witczak, 1975

Dowel berfungsi sebagai penyalur beban pada sambungan, yang dipasang dengan separuh panjang terikat dan separuh panjang dilumasi atau dicat untuk memberikan kebebasan bergeser.



Gambar 2.7.a. : Sambungan susut melintang dengan dowel.



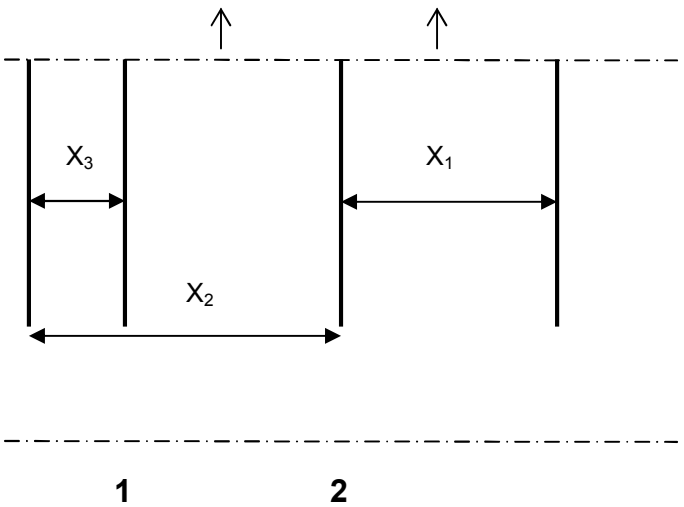
Gambar 2.7.b. : Sambungan muai dengan dowel.

5. Batang pengikat (Tie bar)

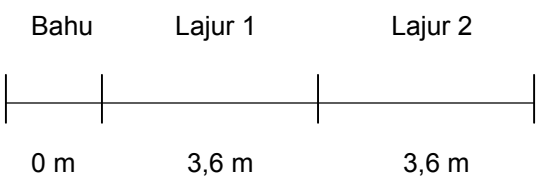
Tie bar adalah potongan baja yang diprofilkan yang dipasang pada sambungan lidah-alur dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horisontal. Batang pengikat dipasang pada sambungan memanjang, lihat *Gambar 2.8.*

Contoh menentukan dimensi batang pengikat :

Jarak sambungan dari tepi terdekat, lihat sketsa *Gambar 7.15.2.5.a.*



1, 2, 3 = Sambungan pelaksanaan memanjang

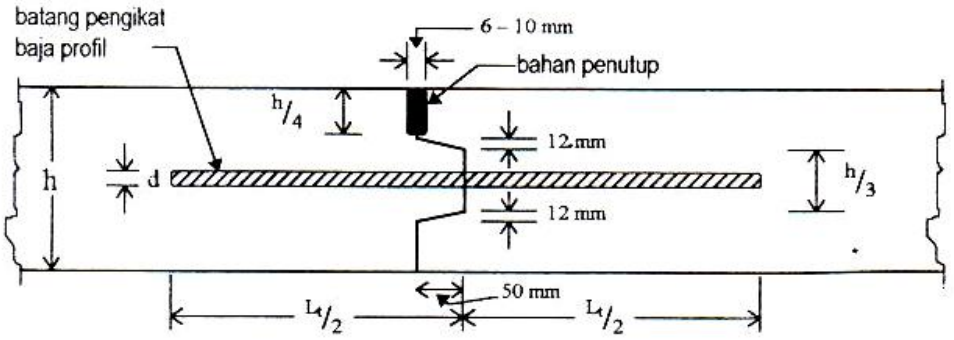


Gambar 2.8.a. : Jarak sambungan dari tepi terdekat

Tabel perhitungan :

Nomor Sambungan	Jarak (X) meter	Jarak maximum Tie bar (cm)	
		ϕ 12 mm	ϕ 16 mm
2	3,60	93	max 120

Sketsa sambungan pelaksanaan memanjang seperti pada *Gambar 2.8.b.*



Lt = panjang batang pengikat (tie Bar) dari baja tulangan yang diprofilkan dapat dibengkokan dan diluruskan kembali tanpa rusak, d = diameter tie bar, h = tebal pelat perkerasan

Gambar 2.8.b. : Sambungan pelaksanaan memanjang dengan lidah alur dan Tie bar.

BAB III
PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN METODE PCA

3.1. UMUM

Perencanaan yang digunakan mengacu pada ***Portland Cement Association (PCA)***. Langkah-langkah praktis, prosedur, parameter-parameter perencanaan diberikan sebagai berikut dibawah ini. Bagan alir prosedur perencanaan diperlihatkan seperti pada *Gambar 3.1.*

3.2. TRAFFIC

Parameter lalu-lintas untuk perencanaan :

- Umur rencana (20 tahun).
- Volume lalu-lintas rencana.
- Faktor distribusi arah = 0,50 (untuk lalu-lintas 2 arah).
- Faktor distribusi lajur (D_L) : mengacu pada Tabel 1.
- Jenis kendaraan : hanya kendaraan niaga yang dianalisis.

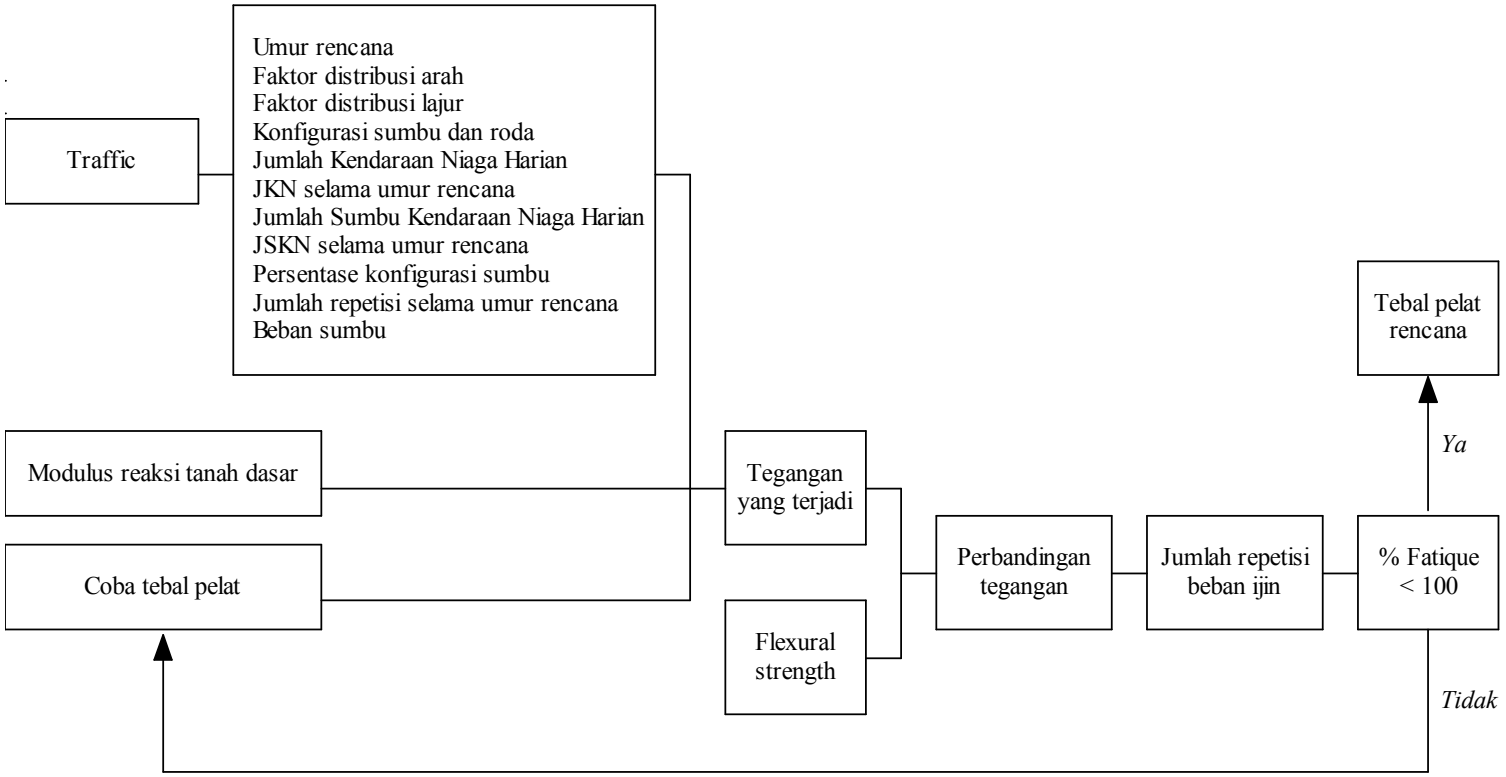
1. Volume Lalu-lintas Rencana (VLLR)

Volume lalu-lintas rencana (VLLR) diperhitungkan dari data lalu-lintas yang ada dan mencakup selama masa layan atau umur rencana.

$$VLLR = LHR \times 365 \times (1 + i)^n$$

VLLR = Volume Lalu-lintas Rencana (kendaraan)
LHR = Lintas Harian Rata-rata (kendaraan per hari)
i = Faktor pertumbuhan lalu-lintas (%)
n = Umur rencana atau masa layan (tahun)

BAGAN ALIR PROSEDUR PERENCANAAN RIGID PAVEMENT CARA PCA



Gambar 3.1.

2. Konfigurasi sumbu dan roda

Konfigurasi sumbu kendaraan :

- Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT).
- Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1).
- Sumbu Tandem Roda Ganda (STRG2).

Konfigurasi sumbu dan gandar (tonase) : ambil dari sumber *Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku, Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.* Dan *Standard Operation Procedure Perencanaan Perkerasan Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta*.

3. Jumlah Kendaraan Niaga

Jumlah Kendaraan Niaga (JKN) selama umur rencana :

JKN = JKNH x 365 x R

di mana :

JKNH = Jumlah Kendaraan Niaga Harian pada saat jalan dibuka.

R = Faktor pertumbuhan lalu-lintas.

4. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH) :

$$\mathrm{JSKNH} = \sum \mathrm{LHR_n} \times \mathrm{S_n}$$

dimana :

LHR_n = Lalu-lintas harian rata-rata kendaraan jenis n.

S_n = Jumlah sumbu kendaraan jenis n.

5. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana :

JSKN = JSKNH x 365 x R

6. Persentase konfigurasi sumbu

Persentase konfigurasi sumbu kendaraan (PKS_n) :

$$PKS_n = \frac{LHR_n}{JSKNH}$$

7. Jumlah repetisi selama umur rencana

Jumlah repetisi setiap jenis kendaraan (JR_n) pada jalur rencana selama umur rencana :

JR_n = JSKN x PKS_n x D_L

8. Faktor keamanan

- Untuk jalan tol = 1,2
- Untuk jalan arteri = 1,1
- Untuk jalan kolektor = 1,0

3.3. MODULUS REAKSI TANAH DASAR

Modulus of subgrade reaction (k) menggunakan gabungan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasar ketentuan CBR tanah dasar.

M_R = 1.500 x CBR

$$k = \frac{M_R}{19,4}$$

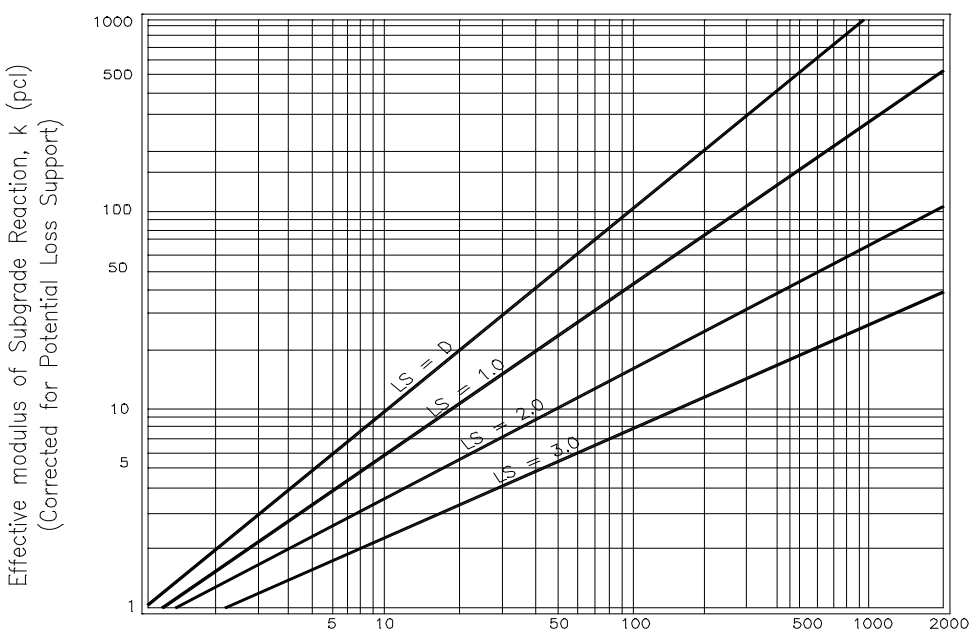
M_R = Resilient modulus.

Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction*, menggunakan Grafik pada *Figure 3.6. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-42) : lihat Gambar 3.2.*

Faktor *Loss of Support* (LS) mengacu pada *Tabel 3.1. (diambil dari AASHTO 1993 hal II-27).*

Tabel 3.1 Loss of Support Factors (LS).

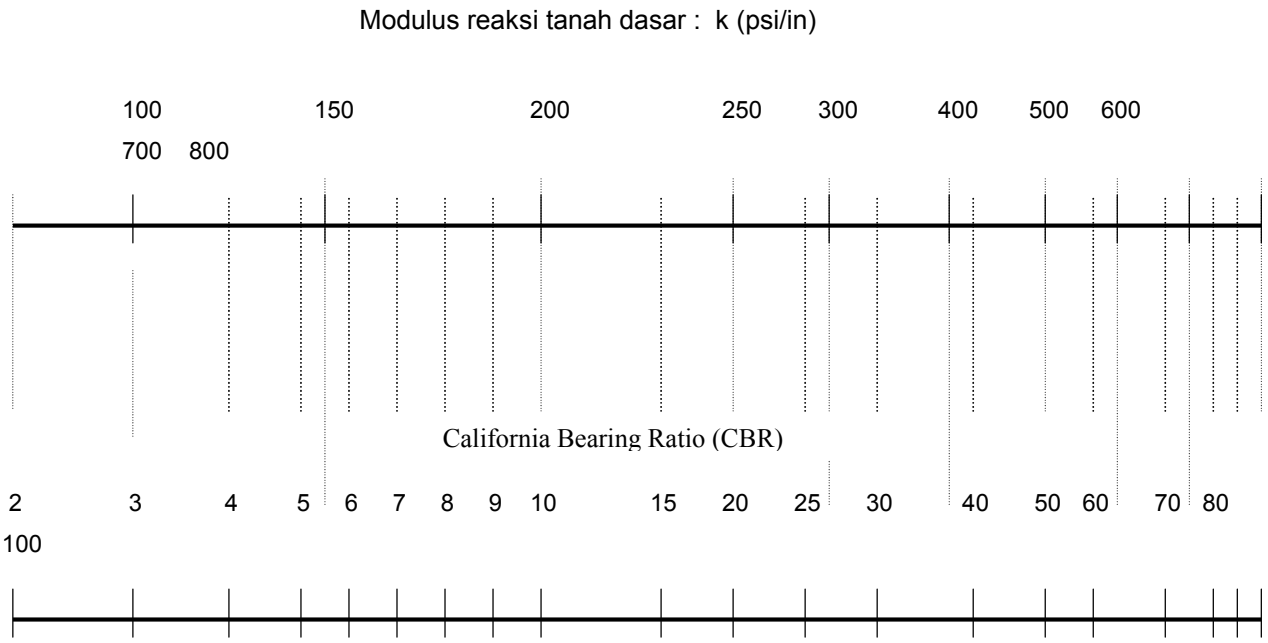
No.	Tipe material	LS
1.	Cement Treated Granular Base (E = 1.000.000 – 2.000.000 psi)	0 – 1
2.	Cement Aggregate Mixtures (E = 500.000 – 1.000.000 psi)	0 – 1
3.	Asphalt Treated Base (E = 350.000 – 1.000.000 psi)	0 – 1
4.	Bituminous Stabilized Mixtures (E = 40.000 – 300.000 psi)	0 – 1
5.	Lime Stabilized (E = 20.000 – 70.000 psi)	1 – 3
6.	Unbound Granular Materials (E = 15.000 – 45.000 psi)	1 – 3
7.	Fine grained / Natural subgrade materials (E = 3.000 – 40.000 psi)	2 – 3



Gambar 3.2.

Pendekatan nilai modulus reaksi tanah dasar dari referensi / literartur :

Pendekatan nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (k) dapat menggunakan hubungan nilai CBR dengan k seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 3.3.* Diambil dari literartur *Highway Engineering (Teknik Jalan Raya),* Clarkson H Oglesby, R Gary Hicks, Stanford University & Oregon State University, 1996.



Gambar 3.3. Hubungan antara (k) dan (CBR), *sumber : Portland Cement Assocoation*.

Penentuan nilai modulus reaksi tanah dasar dari referensi :

Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku, Bina Marga.

Hubungan CBR (%) dengan Modulus reaksi tanah dasar (kg/cm^3) diperlihatkan seperti pada *Gambar 3.4.*

Pada dasarnya lapis pondasi bawah bukan bagian dari struktur perkerasan jalan kaku, tetapi jika lapis pondasi yang digunakan merupakan *bound subbase* atau perancangan memperhitungkan lapis pondasi maka perlu dicari nilai k gabungan. Grafik untuk menentukan nilai k gabungan diperlihatkan pada *Gambar 3.5.*

3.4. TEGANGAN YANG TERJADI

Tegangan yang terjadi (T_e) pada pelat beton mengacu pada Nomogram yang tersedia (lihat *Gambar 3.6*), dengan parameter sebagai berikut :

- Beban sumbu.
- Modulus reaksi tanah dasar (k).
- Taksiran tebal pelat.

3.5. KUAT LENTUR TARIK BETON

Keruntuhan perkerasan akibat repetisi beban. Parameter kekuatan beton dinyatakan dalam kekuatan lentur (flexural strength). Kekuatan ini didapat dari pengujian Three point test (ASTM C-78) untuk beton berumur 28 hari.
Secara teoritis kuat lentur beton dapat dihitung dari kuat tekan beton σ_{bk}^*, yaitu :

$$Mr = \frac{\sigma_{bk}^*}{11} + 9$$

di mana :

Mr = Modulus retak atau kuat lentur (kg/cm^2)
σ_{bk}^* = Kuat tekan beton pada umur 28 hari (kg/cm^2)

Nilai minimum Mr sebaiknya digunakan min. 40 kg/cm^2. Untuk kondisi tertentu dapat digunakan sampai 30 kg/cm^2. Dan biasanya kuat lentur tarik beton : Mr = 45 kg/cm^2.

3.6. PERBANDINGAN TEGANGAN

Perbandingan tegangan (P_{teg}) :

$$P_{teg} = \frac{T_e}{Mr}$$

3.7. JUMLAH REPETISI BEBAN YANG DIIJINKAN & PERSENTASE FATIQUE

Jumlah pengulangan beban yang diijinkan (JPB_i) untuk perbandingan tegangan $P_{teg} \geq 0{,}51$: mengacu pada *Tabel 3.3.*

Tabel 3.3 Perbandingan tegangan dan jumlah pengulangan beban yang diijinkan.

Perbandingan tegangan	Jumlah pengulangan beban yang diijinkan	Perbandingan tegangan	Jumlah pengulangan beban yang diijinkan
0,51	400.000	0,69	2.500
0,52	300.000	0,70	2.000
0,53	240.000	0,71	1.500
0,54	180.000	0,72	1.100
0,55	130.000	0,73	850
0,56	100.000	0,74	650
0,57	75.000	0,75	490
0,58	57.000	0,76	360
0,59	42.000	0,77	270
0,60	32.000	0,78	210
0,61	24.000	0,79	160
0,62	18.000	0,80	120
0,63	14.000	0,81	90
0,64	11.000	0,82	70
0,65	8.000	0,83	50
0,66	6.000	0,84	40
0,67	4.500	0,85	30
0,68	3.500		

Perbandingan tegangan P_{teg} < 0,51 : jumlah pengulangan beban yang diijinkan adalah tak terhingga (∞).

Persentase fatique (P_f) :

$$P_f = \frac{JR_n}{JPB_i}$$

Jumlah kumulatip persentase fatique harus ≤ 100 %.

3.8. PROSEDUR PERANCANGAN

Tahapan perancangan sebagai berikut :

Langkah 1 :

Tentukan nilai k, jika memperhitungkan lapis pondasi bawah maka digunakan k gabungan.

Langkah 2 :

Merubah data lalu-lintas dalam kendaraan menjadi data lalu-lintas dalam sumbu :

Jenis kendaraan	Komposisi sumbu per kendaraan			LHR	$365\ \text{LHR}\frac{(1+i)^n-1}{\ln(1+i)}$
Kend. penumpang					
Bus ringan					
Bus berat					
Truk ringan					
Truk berat					
Trailer					
Jumlah				A	B

A : Total volume lalu-lintas sebelum jalan dibuka (data awal).
B : Total volume lalu-lintas selama umur rencana atau masa layan.

No.	Jenis sumbu	Berat (ton)	Jumlah (akhir umur rencana)
1	STRT	1 ton	
2	STRT	2 ton	
3	……..		
4	STRG	6 ton	
5	STRG	8 ton	
6	……..		
7	SGRG	14 ton	
8	……..		

Disesuaikan dengan data yang ada

Langkah 3 :

Asumsikan tebal pelat beton, tebal minimal 17 cm.

Langkah 4 :

Jumlah untuk setiap berat sumbu dikalikan dengan Faktor Keamanan, yang tergantung pada fungsi jalan.

Langkah 5 :

Tentukan tegangan yang terjadi untuk tiap jenis sumbu dengan menggunakan nomogram. Nilai tegangan tergantung pada beban sumbu, nilai k (atau k gabungan), dan tebal pelat beton.

Langkah 6 :

Tentukan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan Mr untuk mendapatkan jumlah repetisi ijin.

Langkah 7 :

Bandingkan repetisi ijin dengan jumlah sumbu untuk tiap berat sumbu (dalam %). Total jumlah persentase seluruhnya harus lebih kecil atau sama dengan 100 %.

No.	Jenis sumbu	Berat (ton)	Jumlah total	Beban sb rencana	Tegangan yang terjadi	σ/Mr	Repetisi ijin	% fatigue
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
1	STRT	1		(d) * FK	Dari nomogram	(f) / Mr	Tabel 3.	(d) / (h) (%)
2	STRT	2			tergantung			
3	……..				jenis sumbu,			
4	STRG	6			berat, nilai k,			
5	STRG	8			tebal pelat			
6	……..							
7	SGRG	14						
8	……..							
							Jumlah	**X**

Harus lebih kecil atau Sama dengan 100 %

Jika X lebih besar dari 100 % maka tebal pelat diperbesar, yang berarti mengulang proses perhitungan dari langkah 3 dan atau dengan meningkatkan mutu beton, dalam hal ini meningkatkan nilai Mr, berarti mengulang proses perhitungan dari langkah 6.

RANGKUMAN

Jenis perkerasan jalan terdiri atas perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Perencanaan perkerasan lentur dapat dilakukan dengan metode AASHTO dan perencanaan perkerasan kaku dapat dilakukan dengan metode AASHTO atau metode PCA.

Data dan parameter lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan lentur meliputi :

- Jenis kendaraan.
- Volume lalu-lintas harian rata-rata.
- Pertumbuhan lalu-lintas tahunan.
- Damage factor.
- Umur rencana
- Faktor distribusi arah.
- Faktor distribusi lajur.
- Equivalent Single Axle Load, ESAL selama umur rencana *(traffic design)*.

Parameter reliability dapat ditentukan sebagai berikut :

- Berdasar parameter klasifikasi fungsi jalan
- Berdasar status lokasi jalan urban / rural
- Penetapan tingkat Reliability (R)
- Penetapan standard normal deviation (Z_R)
- Penetapan standar deviasi (S_o)
- Kehandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan

Perencanaan mengacu pada ***AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993***. Langkah-langkah praktis, prosedur dan parameter-parameter perencanaan diberikan sebagai berikut dibawah ini.

Parameter perencanaan perkerasan kaku terdiri dari 13 parameter :

- Umur rencana
- Equivalent Single Axle Load
- Terminal serviceability index
- Initial serviceability
- Serviceability loss

- Reliability
- Standar normal deviasi
- Standar deviasi
- Modulus reaksi tanah dasar
- Modulus elastisitas beton
- Flexural strength
- Drainage coefficient
- Load transfer coefficient

Data dan parameter lalu-lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku meliputi :

- Jenis kendaraan.
- Volume lalu-lintas harian rata-rata.
- Pertumbuhan lalu-lintas tahunan.
- Damage factor.
- Umur rencana
- Faktor distribusi arah.
- Faktor distribusi lajur.
- Equivalent Single Axle Load, ESAL selama umur rencana *(traffic design).*

Perencanaan yang digunakan mengacu pada ***Portland Cement Association (PCA)***. Langkah-langkah praktis, prosedur, parameter-parameter perencanaan diberikan sebagai berikut dibawah ini.

Parameter lalu-lintas untuk perencanaan kaku :

- Umur rencana (20 tahun).
- Volume lalu-lintas rencana.
- Faktor distribusi arah = 0,50 (untuk lalu-lintas 2 arah).
- Faktor distribusi lajur (D_L) : mengacu pada Tabel 1.
- Jenis kendaraan : hanya kendaraan niaga yang dianalisis.

DAFTAR PUSTAKA

1 AASHTO***, American Association of State Highway and Transportation Officials Guide for Design of Pavement Structures 1993,*** Washington DC, 1993

2 Sri Harto, ***Analisa Hidrologi,*** , Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.

3 Hinarko, S., Ir., ***Drainase Perkotaan***.

4 Chow, Ven Te, ***Hidrolika Saluran Terbuka,*** Erlangga, Jakarta, 1992.

5 ----------, ***Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 74 tahun 1990 tentang Angkutan Peti Kemas di Jalan.***

6 PT. Jasa Marga (Persero), ***Kriteria Desain***, 2004.

7 Direktorat Jenderal Bina Marga, ***Manual Kapasitas Jalan Indonesia***, Tahun 1997.

8 Suryawan, Ari, ***Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)***, Beta Offset, Yogyakarta, 2005.

9 ----------, ***Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen SNI No : 173 – 1989-F, SKB – 23.26.1987.***

10 ----------, ***Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan (SNI 03-3414-1994).***

LAMPIRAN - 1

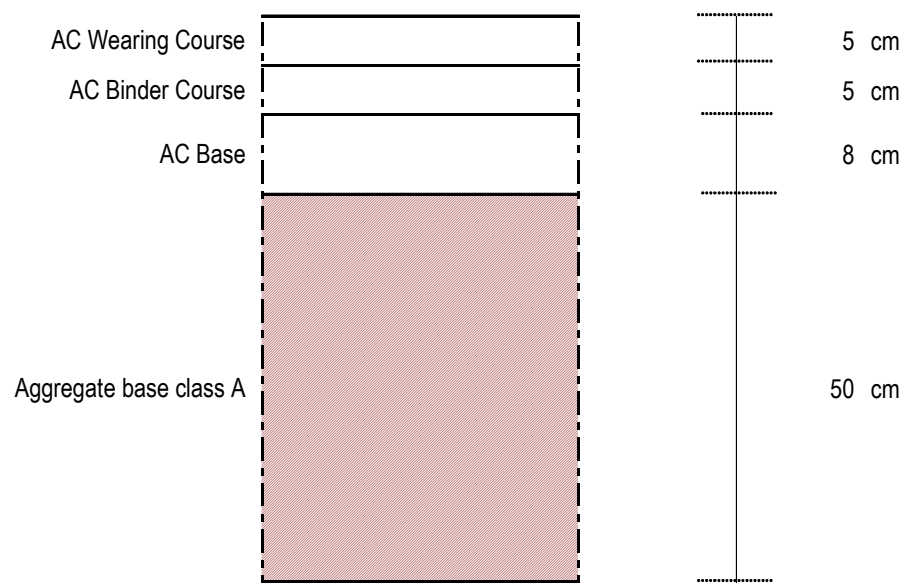
Contoh perhitungan tebal perkerasan lentur Metode AASHTO 1993

PAVEMENT THICKNESS DESIGN - FLEXIBLE PAVEMENT (AASHTO-1993)

PAKET II : SAMBOJA - PALARAN

Umur rencana (tahun)		10	
Traffic design (ESAL)		22,784,157	
CBR (%)		6.00	
Resilient Modulus (MR), psi		9,000	
Terminal serviceability (pt)		2.5	
Initial serviceability (po)		4.2	
Serviceability loss (PSI)		1.7	
Reliability (R)		90.00	
Standard normal deviation (Zr)		-1.282	
Standard deviation (So)		0.45	
Drainage coefficient (m)		1.15	
STRUCTURE NUMBER (SN)		5.25	
CHECK EQUATION :	7.36		7.36

Lapis perkerasan	Layer coeff.	Layer thickness (inch.)	SN	
AC Wearing Course	0.42	1.97	0.83	
AC Binder Course	0.42	1.97	0.83	
AC Base	0.30	3.15	0.94	
Aggregate base class A	0.13	18.11	2.71	
			5.31	OK



VDF : RATA-RATA

LAMPIRAN - 2

Contoh perhitungan tebal perkerasan kaku Metode PCA

PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU METODE PCA (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION)

DATA LALU-LINTAS TAHUN 2003

Kendaraan	Gandar (ton)	Kendaraan	Sumbu	
Sedan + pickup	1 + 1	3350	0	0
Truck / bis kecil	2 + 4	31	2	61
Truck / bis sedang	2,8 + 5,5	418	2	836
Truck / bis besar	3 + 6	682	2	1,364
Truck 3-4 as	6,2 + 18,8	201	2	402
Truck gandeng	5,6+8,8+8,5+8,5	56	4	222
Semi trailer	7,4+17,3+17,3	99	5	495
Jumlah 2 lajur 1 arah		1,486		3,380
		JKNH		JSKNH

JALAN DIBUKA TAHUN 2003
Umur Rencana 20 tahun
Faktor distribusi 0.80

	2003		2023	
Kendaraan	Kendaraan	Sumbu	Kendaraan	Sumbu
Sedan + pickup	3,350	0	57,909,331	0
Truck / bis kecil	31	61	1,105,706	1,753,890
Truck / bis sedang	418	836	15,224,128	24,036,917
Truck / bis besar	682	1,364	12,948,056	39,218,128
Truck 3-4 as	201	402	7,597,032	11,558,422
Truck gandeng	56	222	2,102,151	6,383,009
Semi trailer	99	495	3,748,835	14,232,385
Jumlah	1,486	3,380	42,725,908	97,182,752

JUMLAH REPETISI
Faktor distribusi : 0.80

Konfigurasi sumbu	Beban sumbu (ton)	Jumlah kendaraan	Konsfigurasi sumbu (%)	Jumlah repetisi
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	2.0	31	0.90	876,945
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	2.8	418	12.37	12,018,459
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	3.0	682	20.18	19,609,064
Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1)	4.0	31	0.90	876,945
Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1)	5.5	418	12.37	12,018,459
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	5.6	56	1.64	1,595,752
Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1)	6.0	682	20.18	19,609,064
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	6.2	201	5.95	5,779,211
Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)	7.4	99	2.93	2,846,477
Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1)	8.5	111	3.28	3,191,505
Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG1)	8.8	56	1.64	1,595,752
Sumbu Tandem Roda Ganda (STRG2)	17.3	198	5.86	5,692,954
Sumbu Tandem Roda Ganda (STRG2)	18.8	201	5.95	5,779,211

TEBAL PELAT 26 cm
Beton : MR 45 kg/cm2
Tanah dasar : k 4.0 kg/cm3

Konfigurasi sumbu	Beban sumbu (ton)	FK = 1.20	Repetisi beban	Tegangan yg terjadi (kg/cm2)	Perband. tegangan	Repitisi beban ijin	% fatique	
STRT	2.0	2.40	876,945	-	-	-	0.00	
STRT	2.8	3.36	12,018,459	-	-	-	0.00	
STRT	3.0	3.60	19,609,064	-	-	-	0.00	
STRG1	4.0	4.80	876,945	-	-	-	0.00	
STRG1	5.5	6.60	12,018,459	-	-	-	0.00	
STRT	5.6	6.72	1,595,752	14.00	0.31	-	0.00	
STRG1	6.0	7.20	19,609,064	14.00	0.31	-	0.00	
STRT	6.2	7.44	5,779,211	14.00	0.31	-	0.00	
STRT	7.4	8.88	2,846,477	14.00	0.31	-	0.00	
STRG1	8.5	10.20	3,191,505	14.00	0.31	-	0.00	
STRG1	8.8	10.56	1,595,752	14.30	0.32	-	0.00	
STRG2	17.3	20.76	5,692,954	16.00	0.36	-	0.00	
STRG2	18.8	22.56	5,779,211	17.10	0.38	-	0.00	
						Total	0.00	(OK)



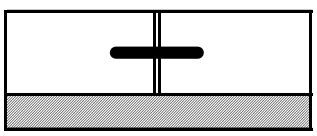
LAMPIRAN - 3

Contoh perhitungan tebal perkerasan kaku Metode AASHTO 1993

PERENCANAAN RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

PAKET I : BALIKPAPAN - SAMBOJA

Umur rencana	:	20	tahun		
Design ESAL	:	51,195,760			
CBR	:	6.0			
Modulus reaksi tanah dasar (k)	:	4.4	kg/cm3 =	160	pci
Modulus elastisitas beton (Ec)	:	280,000	kg/cm2 =	4,000,000	psi
Flexural strength (S'c)	:	45	kg/cm2 =	640	psi
Load transfer coefficient (J)	:	2.55			
Drainage coefficient (Cd)	:	1.15			
Terminal serviceability (pt)	:	2.5			
Initial serviceability (po)	:	4.5			
Serviceability loss (PSI)	:	2.0			
Reliability(R)	:	90.00	%		
Standard normal deviation (Zr)	:	-1.282			
Standard deviation (So)	:	0.35			
Tebal plat rigid pavement (D)	:	10.70	in. =	27.00	cm
Check equation	:	7.71	=	7.71	



Pelat beton 27 cm

Lean concrete 8 cm

VDF BALIKPAPAN - SAMARINDA 2004

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 1

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	10.02	10.47	10.85	11.15	11.42	11.62	11.82	12.02	12.20	12.36	12.50	12.65	12.80	12.90
Tebal plat beton (D), cm	**25**	**27**	**28**	**28**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**	**32**	**32**	**33**	**33**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Paramater desain : Kondisi 2

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.95	10.40	10.77	11.07	11.35	11.55	11.75	11.97	12.12	12.30	12.42	12.60	12.75	12.82
Tebal plat beton (D), cm	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**32**	**32**	**32**	**33**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 3

Design ESAL (x 1000000)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.87	10.30	10.65	10.97	11.25	11.45	11.67	11.85	12.05	12.20	12.35	12.50	12.65	12.72
Tebal plat beton (D), cm	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**	**32**	**32**	**32**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Paramater desain : Kondisi 4

Design ESAL (x 1000000)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037	-1.037
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.55	9.97	10.35	10.65	10.90	11.10	11.30	11.50	11.67	11.85	11.95	12.15	12.25	12.35
Tebal plat beton (D), cm	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Paramater desain : Kondisi 5

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645	-1.645
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	10.30	10.77	11.15	11.50	11.75	11.97	12.20	12.40	12.60	12.75	12.90	13.05	13.20	13.30
Tebal plat beton (D), cm	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**32**	**32**	**33**	**33**	**34**	**34**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 6

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.62	10.05	10.42	10.72	11.00	11.20	11.40	11.60	11.75	11.95	12.05	12.22	12.35	12.45
Tebal plat beton (D), cm	**24**	**26**	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**	**32**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 7

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Tebal plat rigid pavement (D), in.	10.10	10.55	10.90	11.22	11.50	11.70	11.92	12.15	12.30	12.50	12.60	12.80	12.92	13.00
Tebal plat beton (D), cm	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**32**	**32**	**33**	**33**	**33**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 8

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	10.10	10.55	10.92	11.22	11.50	11.72	11.92	12.15	12.30	12.50	12.60	12.80	12.92	13.00
Tebal plat beton (D), cm	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**32**	**32**	**33**	**33**	**33**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 9

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Drainage coefficient (Cd)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.62	10.05	10.42	10.75	11.00	11.20	11.40	11.60	11.75	11.95	12.05	12.25	12.35	12.45
Tebal plat beton (D), cm	**24**	**26**	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**	**32**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 10

Design ESAL (x 1000000)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.75	10.20	10.55	10.85	11.15	11.35	11.55	11.75	11.90	12.07	12.20	12.37	12.50	12.60
Tebal plat beton (D), cm	**25**	**26**	**27**	**28**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**31**	**32**	**32**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

PERENCANAAN TEBAL PELAT RIGID PAVEMENT - AASHTO 1993

Parameter desain : Kondisi 11

Design ESAL (x 1000000)	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**
CBR, %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Modulus reaksi tanah dasar (K), pci	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
Eff. modulus of subgrade reaction (k), pci	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Kuat tekan beton (fc'), kg/cm2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Modulus elastisitas beton (Ec), psi	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000	4,020,000
Flexural strength (Sc'), kg/cm2	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Flexural strength (Sc'), psi	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Load transfer coefficient (J)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Drainage coefficient (Cd)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Terminal serviceability (pt)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Initial serviceability (po)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Serviceability loss (PSI)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Reliability (R), %	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Standard normal deviation (Zr)	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Standard deviation (So)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Tebal plat rigid pavement (D), in.	9.95	10.40	10.77	11.10	11.35	11.57	11.77	12.00	12.15	12.32	12.45	12.65	12.75	12.85
Tebal plat beton (D), cm	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**29**	**30**	**30**	**31**	**31**	**32**	**32**	**32**	**33**
Check equation	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20
	7.48	7.60	7.70	7.78	7.85	7.90	7.95	8.00	8.04	8.08	8.11	8.15	8.18	8.20

LAMPIRAN - 4

Vehicle Damage Factor

PERHITUNGAN ANGKA EKIVALEN BEBAN SUMBU KENDARAAN (VEHICLE DAMAGE FACTOR)

BINA MARGA NO. 01/MN/BM/83 : MST-10

No.	Type kendaraan & konfigurasi sumbu			Berat total (ton)	Konfigurasi beban sumbu roda (ton)						Vehicle Damage Factor
					Depan	Belakang					
					ST,RT	ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5	
1	Sedan, jeep, st. wagon	2	1.1	2.00	1.00	1.00 ST,RT					0.0005
2	Pick-up, combi	3	1.2	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2174
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4	1.2L	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2174
4	Bus kecil	5a	1.2	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2174
5	Bus besar	5b	1.2	9.00	3.06	5.94 ST,RG					0.3006
6	Truck 2 as (H)	6	1.2H	15.15	5.15	10.00 ST,RG					2.4159
7	Truck 3 as	7a	1.2.2	25.00	6.25	9.38 SG,RG	9.38 SG,RG				2.7416
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b	1.2+2.2	31.40	5.65	8.79 ST,RG	8.48 ST,RG	8.48 ST,RG			3.9083
9	Truck S. Trailer	7c	1.2.2+2.2	40.13	5.88	10.00 SG,RG	10.00 SG,RG	7.00 SG,RG	7.25 SG,RG		4.1718

Keterangan :

- ST,RT : Sumbu Tunggal, Roda Tunggal

- ST,RG : Sumbu Tunggal, Roda Ganda

- SG,RG : Sumbu Ganda, Roda Ganda

PERHITUNGAN ANGKA EKIVALEN BEBAN SUMBU KENDARAAN (VEHICLE DAMAGE FACTOR)

NAASRA : MST-10

No.	Type kendaraan & Konfigurasi sumbu			Berat total (ton)	Konfigurasi beban sumbu roda (ton)						Vehicle Damage Factor
					Depan	Belakang					
					ST,RT	ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5	
1	Sedan, jeep, st. wagon	2	1.1	2.00	1.00	1.00 ST,RT					0.0024
2	Pick-up, combi	3	1.2	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2738
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4	1.2L	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2738
4	Bus kecil	5a	1.2	8.30	2.82	5.48 ST,RG					0.2738
5	Bus besar	5b	1.2	9.00	3.06	5.94 ST,RG					0.3785
6	Truck 2 as (H)	6	1.2H	15.15	5.15	10.00 ST,RG					3.0421
7	Truck 3 as	7a	1.2.2	25.00	6.25	9.38 SG,RG	9.38 SG,RG				5.4074
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b	1.2+2.2	31.40	5.65	8.79 ST,RG	8.48 ST,RG	8.48 ST,RG			4.8071
9	Truck S. Trailer	7c	1.2.2+2.2	40.13	5.88	10.00 SG,RG	10.00 SG,RG	7.00 SG,RG	7.25 SG,RG		7.2881

Keterangan :

- ST,RT : Sumbu Tunggal, Roda Tunggal

- ST,RG : Sumbu Tunggal, Roda Ganda

- SG,RG : Sumbu Ganda, Roda Ganda

PERHITUNGAN ANGKA EKIVALEN BEBAN SUMBU KENDARAAN (VEHICLE DAMAGE FACTOR)

PUSTRANS 2002

No.	Type kendaraan & Konfigurasi sumbu				Berat total (ton)	Konfigurasi beban sumbu roda (ton)						Vehicle Damage Factor
						Depan	Belakang					
						ST,RT	ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5	
1	Sedan, jeep, st. wagon	2	Gol-1	1.1	1.50	0.70	0.80 ST,RT					0.0001
2	Pick-up, combi	3	Gol-2	1.2	7.71	2.66	5.05 ST,RG					0.1580
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4	Gol-2	1.2L	7.71	2.66	5.05 ST,RG					0.1580
4	Bus kecil	5a	Gol-2	1.2	7.71	2.66	5.05 ST,RG					0.1580
5	Bus besar	5b	Gol-9	1.2	12.07	5.03	7.04 ST,RG					0.6984
6	Truck 2 as (H)	6	Gol-3	1.2H	14.83	4.47	10.36 ST,RG					2.6883
7	Truck 3 as	7a	Gol-4	1.2.2	29.36	7.01	11.20 SG,RG	11.15 SG,RG				5.3847
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b	Gol-6	1.2+2.2	32.54	4.91	11.26 ST,RG	8.47 ST,RG	7.90 ST,RG			5.7962
9	Truck S. Trailer	7c	Gol-8	1.2.2+2.2	40.20	5.88	10.00 SG,RG	10.07 SG,RG	7.00 SG,RG	7.25 SG,RG		4.2155

Keterangan :

- ST,RT : Sumbu Tunggal, Roda Tunggal

- ST,RG : Sumbu Tunggal, Roda Ganda

- SG,RG : Sumbu Ganda, Roda Ganda