



Pd T-14-2003

Perencanaan perkerasan jalan beton semen

Daftar isi

	Halaman
Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan Normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Simbol dan Singkatan.....	5
5 Ketentuan/ Persyaratan	6
5.1 Umum.....	6
5.2 Struktur dan jenis perkerasan beton semen.....	7
5.3 Persyaratan teknis	7
5.3.1 Tanah dasar	7
5.3.2 Pondasi bawah	8
5.3.2.1 Pondasi bawah material berbutir	9
5.3.2.2 Pondasi bawah dengan bahan pengikat (<i>Bound Sub-base</i>)	9
5.3.2.3 Pondasi bawah dengan campuran beton kurus (<i>Lean-Mix Concrete</i>)	9
5.3.2.4 Lapis pemecah ikatan pondasi bawah dan pelat.....	9
5.3.3 Beton semen	9
5.3.4 Lalu-lintas	10
5.3.4.1 Lajur rencana dan koefisien distribusi	10
5.3.4.2 Umur rencana.....	11
5.3.4.3 Pertumbuhan lalu-lintas.....	11
5.3.4.4 Lalu-lintas rencana	12
5.3.4.5 Faktor Keamanan beban	12
5.3.5 Bahu	13
5.3.6 Sambungan	13
5.3.6.1 Sambungan memanjang dengan batang pengikat (<i>tie bars</i>).....	13
5.3.6.2 Sambungan pelaksanaan memanjang	13
5.3.6.3 Sambungan susut memanjang.....	14
5.3.6.4 Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang	14
5.3.6.5 Sambungan susut melintang	14
5.3.6.6 Sambungan pelaksanaan melintang	15
5.3.6.7 Sambungan isolasi	16
5.3.6.8 Pola sambungan.....	18
5.3.6.9 Penutup sambungan	19
5.4 Perkerasan beton semen untuk kelandaian yang curam	19

6	Prosedur perencanaan	20
6.1	Perencanaan tebal pelat	20
6.2	Perencanaan tulangan	29
6.2.1	Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan.....	29
6.2.2	Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan.....	29
6.2.3	Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan.....	30
6.2.3.1	Penulangan memanjang.....	30
6.2.3.2	Penulangan melintang	31
6.2.3.3	Penempatan tulangan	31
7	Perencanaan lapis tambahan.....	31
7.1	Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton aspal.....	32
7.2	Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton semen	32
7.2.1	Pelapisan tambahan perkerasan beton semen dengan lapis pemisah	32
7.2.2	Pelapisan tambahan langsung	33
7.3	Pelapisan tambahan perkerasan lentur di atas perkerasan beton semen	33
Lampiran-lampiran (Informatif).		
A.1	Contoh Perhitungan Tebal Pelat Beton Semen	36
A.2	Perhitungan Perkerasan Lapis Tambah Perkerasan beton Semen di Atas Perkerasan Beton Semen	40
A.3	Perhitungan Lapis Tambah Perkerasan Beton Aspal di Atas Beton Semen	42
B	Grafik Penentuan Perkiraan awal Tebal Pelat Beton Semen	43

Prakata

Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen ini disiapkan oleh Sub Panitia Teknik Bidang Prasarana Transportasi di Pusat Litbang Prasarana Transportasi dengan konseptor :

Dr. Ir. Furqon Affandi, MSc.,
Dr. Djoko Widajat, MSc.,
Ir. A. Tatang Dachlan, MEng Sc.,
Ir. Roestaman, MSc.,
Ir. Joko Purnomo.,
Ir. Suhaili.

Maksud pedoman ini adalah untuk perencanaan perkerasan beton semen bagi jalan dengan beban lalu-lintas berat, dan ditujukan sebagai pegangan bagi para perencana pembangunan jalan sehingga terwujud jaminan mutu produk dan jasa.

Pedoman ini mencakup ruang lingkup, acuan, istilah dan definisi, ketentuan dan persyaratan serta prosedur perencanaan. Dalam pedoman ini disajikan pula contoh perhitungan.

Tatacara penulisan ini mengacu pada pedoman BSN No. 8 th 2000.

Pendahuluan

Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen ini merupakan penyempurnaan Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Tahun 1985 – SKBI 2.3.28.1985, sehingga para Perencana mempunyai pegangan dalam melakukan perencanaan perkerasan beton semen di Indonesia.

Dalam penerapan jalan beton semen, pengambil kebijakan harus mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan disekitar lokasi proyek, sehingga tidak terjadi kesulitan ataupun permasalahan dikemudian hari setelah perkerasan beton semen dilaksanakan.

Pedoman ini telah dibahas dan dikonsensuskan serta memperoleh masukan dari Instansi Perguruan Tinggi, Konsultan Pengawas dan Perencana serta Instansi di lingkungan Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Departemen KIMPRASWIL.

Pedoman ini merupakan adopsi dari AUSTROADS, *Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements* (1992), sehingga dengan diterbitkannya Pedoman ini, maka Pedoman yang terdahulu tidak berlaku lagi.

Perencanaan perkerasan jalan beton semen

1 Ruang Lingkup

Pedoman ini mencakup dasar-dasar ketentuan perencanaan perkerasan jalan, yaitu :

- Analisis kekuatan tanah dasar dan lapis pondasi.
- Perhitungan beban dan komposisi lalu-lintas.
- Analisis kekuatan beton semen untuk perkerasan

Pedoman Perkerasan Beton semen ini menguraikan Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan dan contoh Perhitungan.

Perkerasan beton semen pra-tegang tidak termasuk di dalam buku ini.

Prosedur ini tidak direkomendasikan untuk perencanaan tebal perkerasan di daerah permukiman dan kawasan industri.

2 Acuan Normatif

SNI 03-1731-1989	:	Pengujian insitu CBR
SNI 03-1973-1990	:	Metode pengujian kuat tekan beton
AASHTO T-222-81	:	Non repetitive Static Plate Test of Soil and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavement.
AASHTO T-128-86 (1990)	:	Fineness of Hydraulic Cement by the No. 100 (150- μ .m) and No. 200 (75- μ .m).
ASTM – C 78	:	Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
SNI 03-6388-2000	:	Spesifikasi agregat lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas dan lapis petutup.
SNI 03-1743-1989	:	Metoda pengujian kepadatan berat isi untuk tanah.
SNI 03-1744-1989	:	Metoda pengujian CBR laboratorium.
SNI 03-2491-1991	:	Metoda pengujian kuat tarik belah beton.
AASHTO M - 155	:	Granular Material to Control Pumping Under Concrete Pavement.
AASHTO M-30-1990	:	Zinc-Coated Steel Wire Rope and Fittings for Highway Guardrail.
Austroroads (1992)	:	<i>Pavement Design., A Guide to the Structural Design of Road Pavements. Design of New Rigid Pavements.</i>

3 Istilah dan definisi

3.1

balok angker melintang (*transverse log*)

sistem konstruksi sambungan yang dibuat pada ujung-ujung perkerasan beton bertulang menerus dengan balok beton ditanamkan ke dalam tanah dasar guna memegang gerakan dari pelat.

3.2

batang pengikat (*tie bars*)

sepotong baja ulir yang dipasang pada sambungan memanjang dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal.

3.3

bahan pengisi sambungan (*joint filler*)

suatu bahan yang bersifat plastis yang dipasang pada celah sambungan muai, guna mencegah masuknya benda-benda asing ke dalam celah.

3.4

bahan penutup sambungan (*joint sealer*)

suatu bahan yang bersifat elastis yang dipasang pada bagian atas dari sambungan yang dimaksudkan untuk mencegah masuknya benda-benda asing ke dalam celah.

3.5

batang ulir (*deformed bars*)

batang tulangan prismatis atau yang diprofilkan berbentuk alur atau spiral yang terpasang tegak lurus atau miring terhadap muka batang, dengan jarak antara rusuk-rusuk tidak lebih dari 0,7 diameter batang pengenalnya/nominal.

3.6

dudukan tulangan (*reinforcement chairs*)

dudukan yang dibentuk sedemikian rupa yang terbuat dari besi tulangan, plastik atau bahan lainnya yang berfungsi sebagai dudukan tulangan arah memanjang dan melintang.

3.7

gompalan (*spalling*)

suatu bentuk kerusakan pada pelat beton yang umumnya terjadi pada tepi-tepi pelat atau retakan.

3.8

kuat tarik lentur (*flexural strength modulus of rupture*)

kekuatan beton yang diperoleh dari percobaan balok beton dengan pembebanan tiga titik yang dibebani sampai runtuh.

3.9

lapis pondasi bawah dengan bahan pengikat (*bound sub-base*)

pondasi bawah yang biasanya terdiri dari material berbutir yang distabilisasi dengan semen aspal, kapur, abu terbang (*fly ash*) atau slag yang dihaluskan sebagai bahan pengikatnya.

3.10

modulus reaksi tanah dasar (*modulus of subgrade reaction*)

nilai konstanta pegas (*spring constant*) dari tanah dasar di dalam menerima beban yang ditentukan dari percobaan pengujian beban pelat (*Plate Bearing*).

3.11

perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (*Jointed Unreinforced Concrete Pavement*)

jenis perkerasan beton semen yang dibuat tanpa tulangan dengan ukuran pelat mendekati bujur sangkar, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar antara 4-5 meter.

3.12

perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*)

jenis perkerasan beton yang dibuat dengan tulangan, yang ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar antara 8-15 meter.

3.13

perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*)

jenis perkerasan beton yang dibuat dengan tulangan dan dengan panjang pelat yang menerus yang hanya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan muai melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini lebih besar dari 75 meter.

3.14

perkerasan beton semen pra-tegang (*prestressed concrete pavement*)

jenis perkerasan beton menerus, tanpa tulangan yang menggunakan kabel-kabel pratekan guna mengurangi pengaruh susut, muai dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembaban.

3.15

perkerasan beton semen dengan lapis beton aspal (*asphaltic concrete surfaced rigid pavement*)

berupa perkerasan beton yang bagian permukaannya diberi lapisan beraspal.

3.16

pelat dengan bentuk tidak lazim (*odd shaped slab*)

pelat yang bentuknya tidak bujur sangkar atau persegi panjang tetapi umumnya mempunyai bentuk segitiga, segi banyak dan trapesium.

3.17

perkerasan beton semen (*rigid pavement*)

suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan atau tanpa tulangan.

3.18

ruji (*dowel*)

sepotong baja polos lurus yang dipasang pada setiap jenis sambungan melintang dengan maksud sebagai sistem penyalur beban, sehingga pelat yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadi perbedaan penurunan yang berarti.

3.19

sambungan lidah alur (*key ways joint*)

jenis sambungan pelaksanaan memanjang dimana sebagai sistem penyalur bebannya digunakan hubungan lidah alur sedangkan untuk memegang pergerakan pelat ke arah horizontal digunakan batang pengikat.

3.20

sambungan muai (*expansion joint*)

jenis sambungan melintang yang dibuat untuk membebaskan tegangan pada perkerasan beton dengan cara menyediakan ruangan untuk pemuaian.

3.21

sambungan pelaksanaan (*construction joint*)

jenis sambungan melintang atau memanjang yang dibuat untuk memisahkan bagian-bagian yang dicor/dihampar pada saat yang berbeda, ditempatkan di antara beton hasil penghamparan lama dengan beton hasil penghamparan baru.

3.22

sambungan tidak sejalur (*mismatched joint*)

suatu pola sambungan, dimana sambungan di antara pelat-pelat yang berdekatan tidak berada dalam satu garis (jalur).

3.23

sambungan susut (*contraction joint*)

jenis sambungan melintang yang dibuat dengan maksud untuk mengendalikan retak susut beton, serta membatasi pengaruh tegangan lenting yang timbul pada pelat akibat pengaruh perubahan temperatur dan kelembaban.

jarak antara tiap sambungan susut, umumnya dibuat sama.

3.24

takikan (*groove*)

ruang pada bagian atas sambungan yang dibuat sebagai tempat bahan penutup.

3.25

tegangan lenting (*warping stress*)

tegangan yang terjadi pada pelat beton yang ditimbulkan oleh melentingnya pelat akibat perbedaan temperatur dan kelembaban.

3.26

lalu-lintas harian rata-rata (LHR)

jumlah total volume lalu-lintas roda empat atau lebih dalam satu tahun dibagi dengan jumlah hari dalam satu tahun.

3.27

kendaraan niaga

kendaraan yang paling sedikit mempunyai dua sumbu atau lebih yang setiap kelompok bannya mempunyai paling sedikit satu roda tunggal, dan berat total minimum 5 ton.

3.28

kuat tarik langsung

kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya.

3.29

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

jumlah sumbu kumulatif dari kendaraan niaga selama umur rencana pada lajur rencana.

3.30

Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH)

jumlah sumbu harian kendaraan niaga pada awal tahun rencana pada lajur rencana.

3.31

California Bearing Ratio (CBR)

perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

3.32

Umur Rencana (UR)

suatu periode tertentu dalam tahun, yang dirancang agar jalan yang direncanakan dan dipelihara dapat berfungsi selama periode tersebut.

3.33**stabilisasi**

suatu tindakan perbaikan mutu bahan perkerasan jalan atau meningkatkan kekuatan bahan sampai kekuatan tertentu agar bahan tersebut dapat berfungsi dan memberikan kinerja yang lebih baik dari pada bahan aslinya.

3.34**beban sumbu standar**

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

3.35**jalur lalu-lintas**

bagian jalan yang direncanakan khusus untuk lintasan kendaraan

3.36**lajur lalu-lintas**

bagian dari jalur jalan yang diperuntukkan bagi laju satu lintasan kendaraan.

3.37**lajur rencana (LR)**

suatu lajur lalu-lintas yang menampung lalu-lintas terbesar. umumnya salah satu lajur jalan dua jalur atau lajur tepi luar dari jalan raya berlajur banyak.

4 Simbol dan Singkatan

μ	koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah.
ϕ	diameter batang pengikat.
ϵ_s	koefisien susut beton.
A_s	luas penampang tulangan baja per meter lebar pelat.
A_t	luas penampang tulangan per meter panjang sambungan.
b	jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan.
BBDT	Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan.
BBTT	Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan
BJTP	Baja Tulangan Polos
BJTU	Baja Tulangan Ulir
BMDT	Beton Menerus Dengan Tulangan
C	koefisien distribusi lajur kendaraan
C_s	koefisien yang menyatakan kondisi pelat lama
CBK	Campuran Beton Kurus.
d	diameter tulangan memanjang.
D	tebal perkerasan.
E_c	modulus elastisitas beton.
E_s	modulus elastisitas baja.
f_b	tegangan lekat antara tulangan dengan beton.
f'_c	kuat tekan beton karakteristik 28 hari.
f_{ct}	kuat tarik lentur beton 28 hari.
f_{cs}	kuat tarik tidak langsung beton 28 hari.
f_{ct}	kuat tarik langsung beton.
FE	Faktor Erosi.
Fk	faktor konversi lapisan perkerasan lama (yang ada).
F_{KB}	faktor keamanan beban.
FRT	Faktor Rasio Tegangan.
f_s	tegangan tarik ijin tulangan (MPa), biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

f_y	tegangan leleh rencana baja.
g	gravitasi.
h	tebal pelat beton.
i	laju pertumbuhan lalu-lintas per tahun.
JSKN	Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga.
JSKNH	Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian.
K	konstanta, koefisien antara kuat tekan dan kuat tarik lentur beton.
L	jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat.
l	panjang batang pengikat.
L_p	lebar perkerasan.
L_{cr}	jarak teoritis antara retakan.
M	berat pelat beton per satuan volume.
n	angka ekuivalensi antara baja dan beton.
n_l	jumlah lajur.
p	perbandingan luas penampang tulangan memanjang dengan luas penampang beton.
P_s	persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton.
R	faktor pertumbuhan kumulatif yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.
SNI	Standar Nasional Indonesia.
STdRG	Sumbu Tandem Roda Ganda.
STRG	Sumbu Tunggal Roda Ganda.
STrRG	Sumbu Tridem Roda Ganda.
STRT	Sumbu Tunggal Roda Tunggal.
T_r	tebal lapis tambahan berdasarkan beban rencana dan daya dukung tanah dasar dan atau lapis pondasi bawah dari jalan lama.
T_0	tebal pelat yang ada.
T_e	tebal efektif perkerasan lama.
TE	Tegangan Ekuivalen.
T	tebal perlu berdasarkan beban rencana dan atau daya dukung tanah dasar dan atau lapis pondasi bawah dari jalan lama.
u	perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.
UR	Umur Rencana
URm	waktu tertentu dalam tahun sebelum umur rencana.

5 Ketentuan/persyaratan

5.1 Umum

Pedoman ini dimaksudkan untuk merencanakan perkerasan beton semen untuk jalan yang melayani lalu-lintas rencana lebih dari satu juta sumbu kendaraan niaga.

Metode perencanaan didasarkan pada :

- Perkiraan lalu-lintas dan komposisinya selama umur rencana.
- Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dengan CBR (%).
- Kekuatan beton yang digunakan
- Jenis bahu jalan.
- Jenis perkerasan.
- Jenis penyaluran beban.

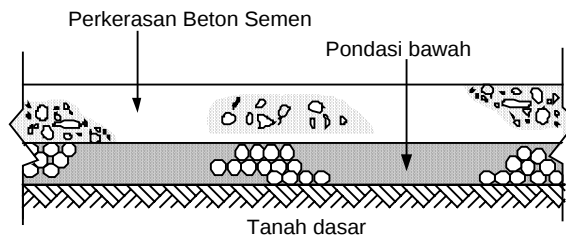
5.2 Struktur dan jenis perkerasan beton semen

Perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis :

- Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan
- Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan
- Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan
- Perkerasan beton semen pra-tegang

Jenis perkerasan beton semen pra-tegang tidak dibahas dalam pedoman ini.

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipikal struktur perkerasan beton semen

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan.

Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut :

- Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
- Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
- Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
- Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya.

Bila diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi, permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5 cm.

5.3 Persyaratan teknis

5.3.1 Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

5.3.2 Pondasi bawah

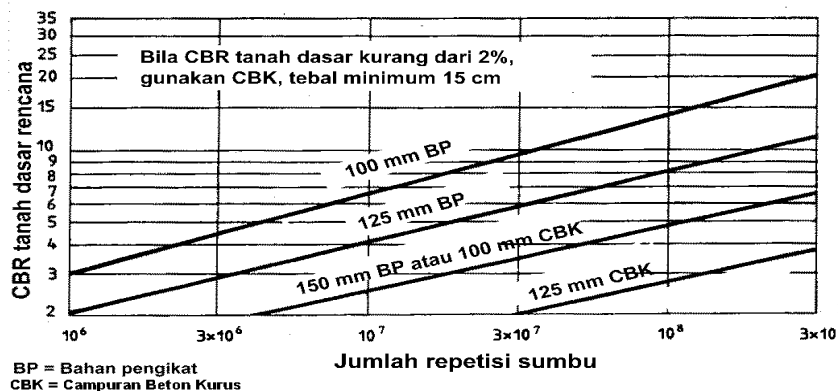
Bahan pondasi bawah dapat berupa :

- Bahan berbutir.
- Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*)
- Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

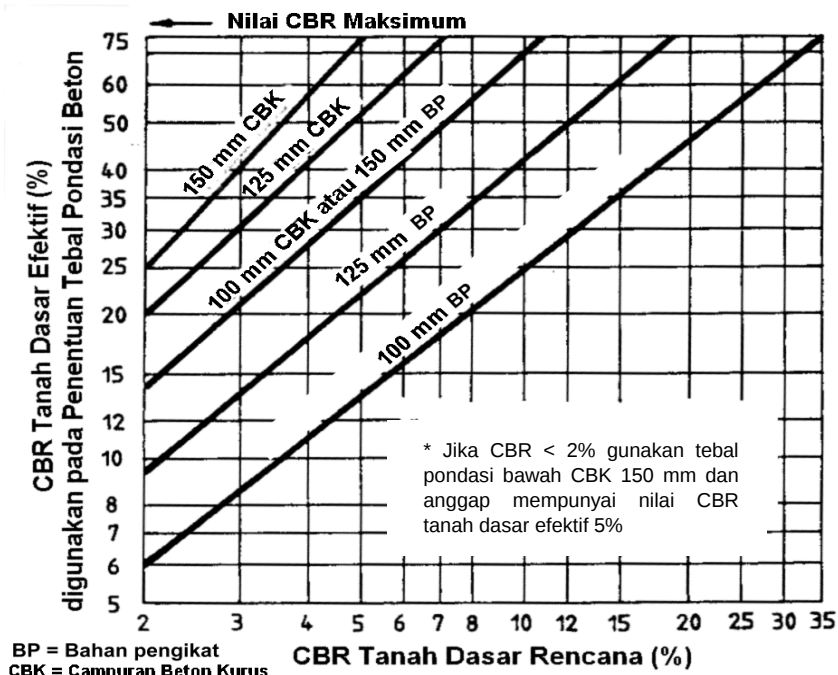
Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen.

Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif.

Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 3.



Gambar 2 Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen



Gambar 3 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah

5.3.2.1 Pondasi bawah material berbutir

Material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-6388-2000. Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan ijin 3% - 5%.

Ketebalan minimum lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5% adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah minimum 100 %, sesuai dengan SNI 03-1743-1989.

5.3.2.2 Pondasi bawah dengan bahan pengikat (*Bound Sub-base*)

Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari :

- (i) Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan/atau slag yang dihaluskan.
- (ii) Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
- (iii) Campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

5.3.2.3 Pondasi bawah dengan campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*)

Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

5.3.2.4 Lapis pemecah ikatan pondasi bawah dan pelat

Perencanaan ini didasarkan bahwa antara pelat dengan pondasi bawah tidak ada ikatan. Jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai koefisien gesekan (μ)

No.	Lapis pemecah ikatan	Koefisien gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0
2	Laburan parafin tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon (<i>A chlorinated rubber curing compound</i>)	2,0

5.3.3 Beton semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam MPa atau } \dots \dots \dots (1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots \dots \dots (2)$$

Dengan pengertian :

f'_c : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

f_{cf} : kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

K : konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sebagai berikut :

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam MPa atau} \dots\dots\dots (3)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan pengertian :

f_{cs} : kuat tarik belah beton 28 hari

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (steel-fibre) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus. Panjang serat baja antara 15 mm dan 50 mm yang bagian ujungnya melebar sebagai angker dan/atau sekrup penguat untuk meningkatkan ikatan. Secara tipikal serat dengan panjang antara 15 dan 50 mm dapat ditambahkan ke dalam adukan beton, masing-masing sebanyak 75 dan 45 kg/m^3 .

Semen yang akan digunakan untuk pekerjaan beton harus dipilih dan sesuai dengan lingkungan dimana perkerasan akan dilaksanakan.

5.3.4 Lalu-lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana.

Lalu-lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir.

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

5.3.4.1 Lajur rencana dan koefisien distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar.

Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar perkerasan (L_p)	Jumlah lajur (n_l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,50	0,475
$11,23 \text{ m} \leq L_p < 15,00 \text{ m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75 \text{ m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00 \text{ m}$	6 lajur	-	0,40

5.3.4.2 Umur rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

5.3.4.3 Pertumbuhan lalu-lintas

Volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan pengertian :

- R : Faktor pertumbuhan lalu lintas
- i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.
- UR : Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 3

Tabel 3 Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

Apabila setelah waktu tertentu (UR_m tahun) pertumbuhan lalu-lintas tidak terjadi lagi, maka R dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+i)^{UR}}{i} + (UR - UR_m) \{ (1+i)^{UR_m} - 1 \} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan pengertian :

- R : Faktor pertumbuhan lalu lintas
- i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %.
- UR_m : Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai.

5.3.4.4 Lalu-lintas rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan.

Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban.

Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots (7)$$

Dengan pengertian :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan komulatif dari Rumus (5) atau Tabel 3 atau Rumus (6), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

C : Koefisien distribusi kendaraan

5.3.4.5 Faktor keamanan beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Faktor keamanan beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

5.3.5 Bahu

Bahu dapat terbuat dari bahan lapisan pondasi bawah dengan atau tanpa lapisan penutup beraspal atau lapisan beton semen.

Perbedaan kekuatan antara bahu dengan jalur lalu-lintas akan memberikan pengaruh pada kinerja perkerasan. Hal tersebut dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi tebal pelat

Yang dimaksud dengan bahu beton semen dalam pedoman ini adalah bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu-lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

5.3.6 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain :

- Sambungan memanjang
- Sambungan melintang
- Sambungan isolasi

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

5.3.6.1 Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3 - 4 m.

Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm.

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \quad \text{dan}$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75$$

Dengan pengertian :

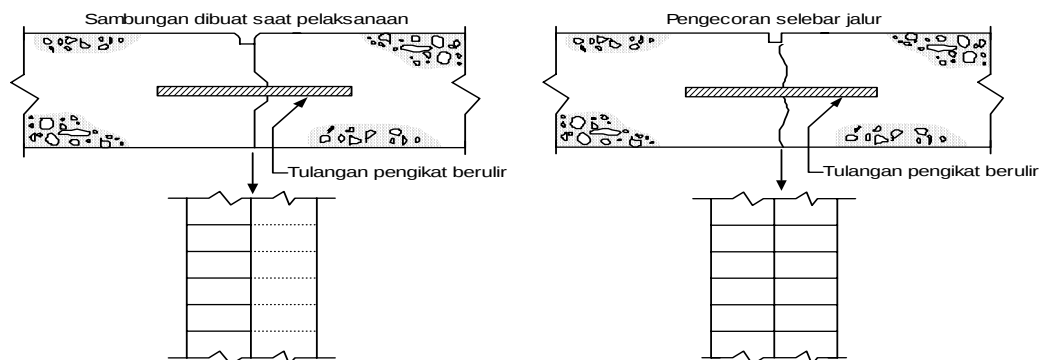
- A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2).
- b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).
- h = Tebal pelat (m).
- l = Panjang batang pengikat (mm).
- ϕ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

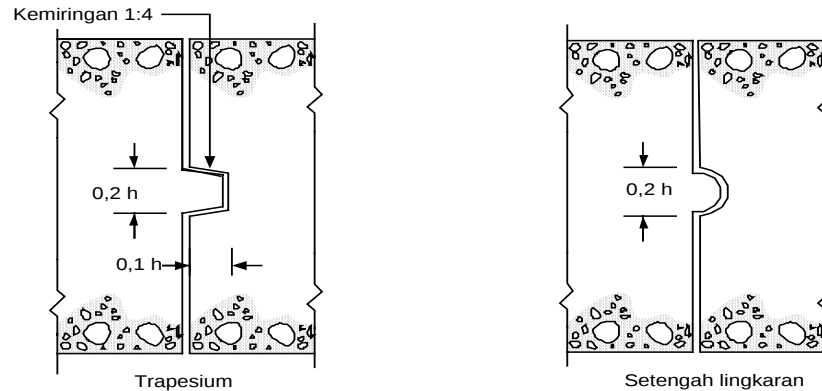
Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada Gambar 4

5.3.6.2 Sambungan pelaksanaan memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4 Tipikal sambungan memanjang



Gambar 5 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

5.3.6.3 Sambungan susut memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

5.3.6.4 Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1 : 10 searah perputaran jarum jam.

5.3.6.5 Sambungan susut melintang

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

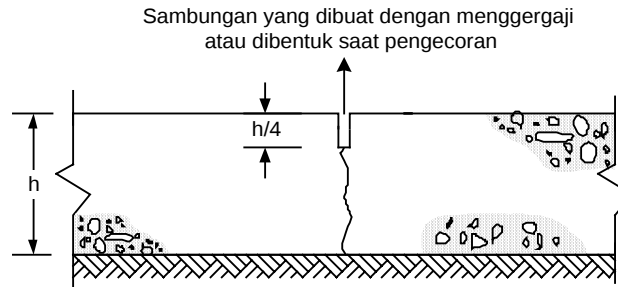
Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut.

Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton.

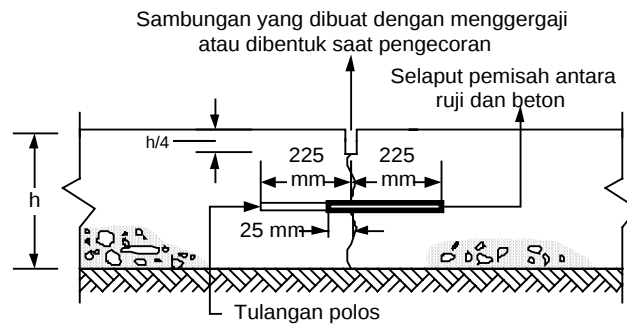
Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Diameter ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36



Gambar 6 Sambungan susut melintang tanpa ruji

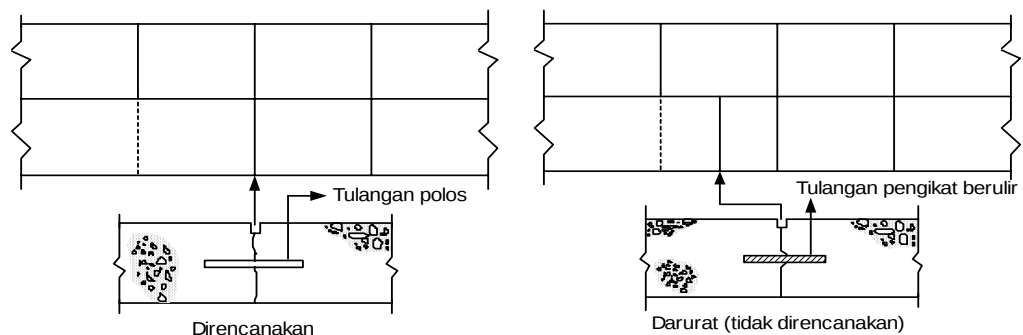


Gambar 7 Sambungan susut melintang dengan ruji

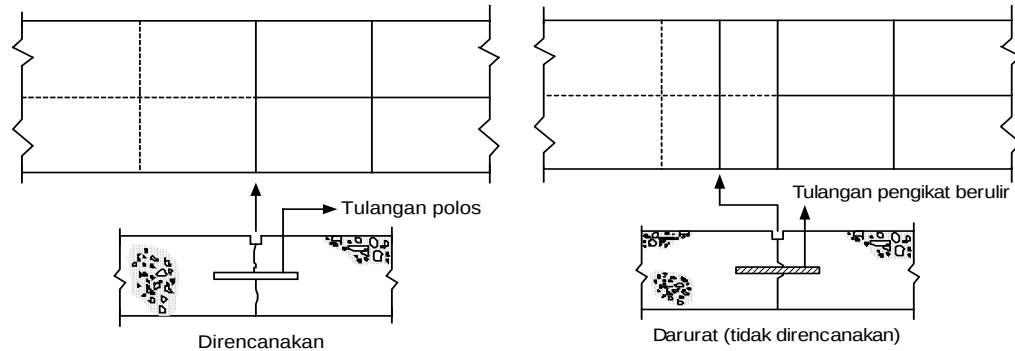
5.3.6.6 Sambungan pelaksanaan melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



Gambar 8 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur

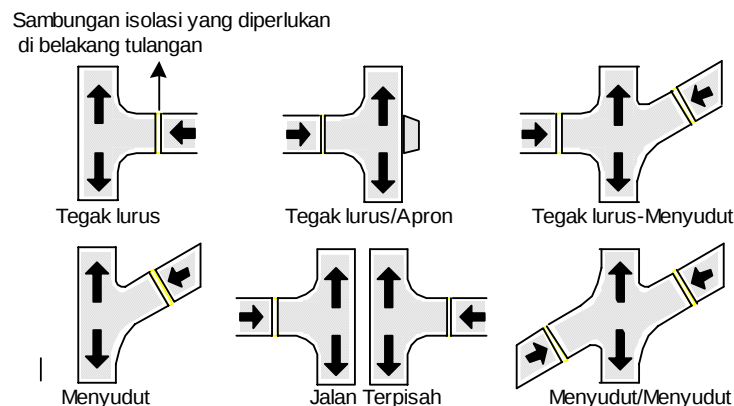


Gambar 9 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan

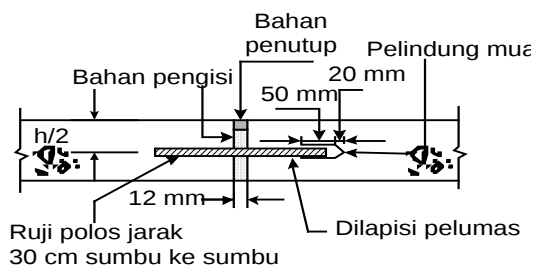
5.3.6.7 Sambungan isolasi

Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya *manhole*, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi diperlihatkan pada Gambar 10.

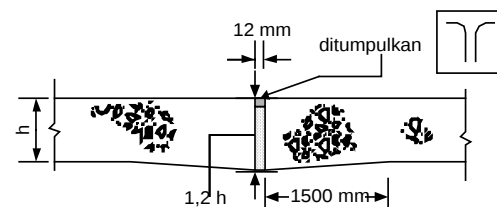
Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5 – 7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*) sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 11.



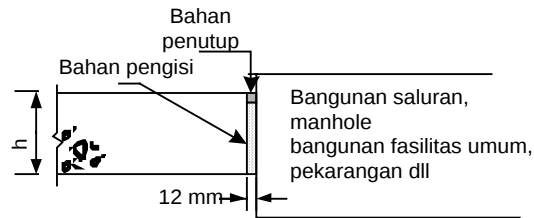
Gambar 10 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi



a) SAMBUNGAN ISOLASI DENGAN RUJI



b) SAMBUNGAN ISOLASI DENGAN PENEBALAN TEPI



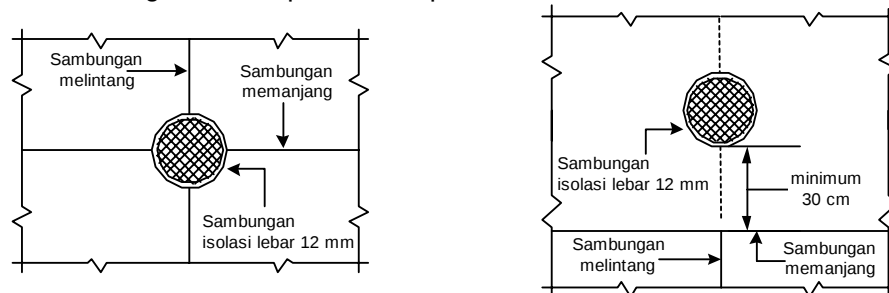
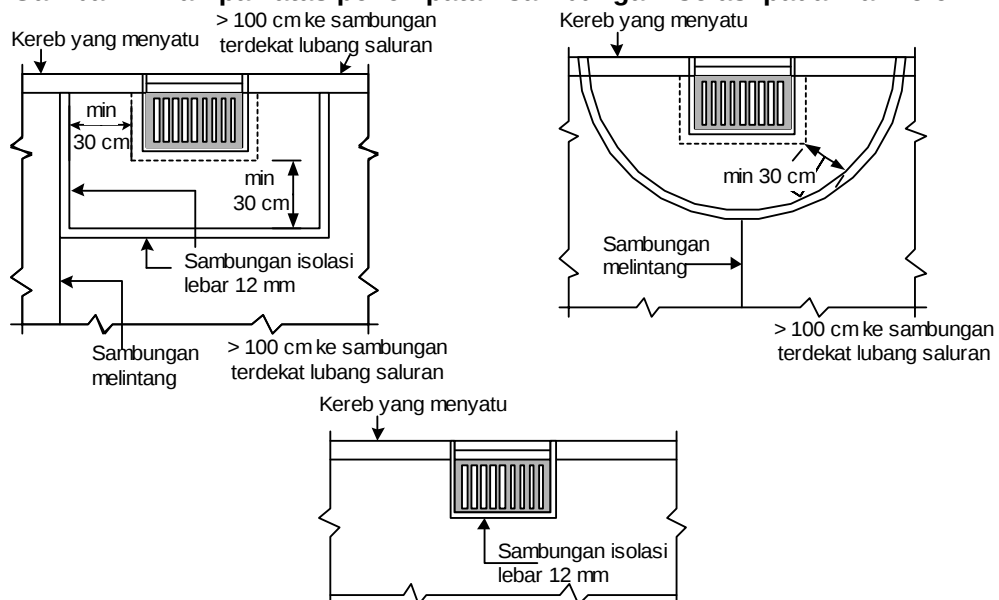
c) SAMBUNGAN ISOLASI TANPA RUJI

Gambar 11 Sambungan isolasi

Sambungan isolasi yang digunakan pada bangunan lain, seperti jembatan perlu pemasangan ruji sebagai transfer beban. Pada ujung ruji harus dipasang pelindung muai agar ruji dapat bergerak bebas. Pelindung muai harus cukup panjang sehingga menutup ruji 50 mm dan masih mempunyai ruang bebas yang cukup dengan panjang minimum lebar sambungan isolasi ditambah 6 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 11a. Ukuran ruji dapat dilihat pada Tabel 5.

Sambungan isolasi pada persimpangan dan ram tidak perlu diberi ruji tetapi diberikan penebalan tepi untuk mereduksi tegangan. Setiap tepi sambungan ditebalkan 20% dari tebal perkerasan sepanjang 1,5 meter seperti diperlihatkan pada Gambar 11b.

Sambungan isolasi yang digunakan pada lubang masuk ke saluran, manhole, tiang listrik dan bangunan lain yang tidak memerlukan penebalan tepi dan ruji, ditempatkan di sekeliling bangunan tersebut sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 11c, 12 dan 13.

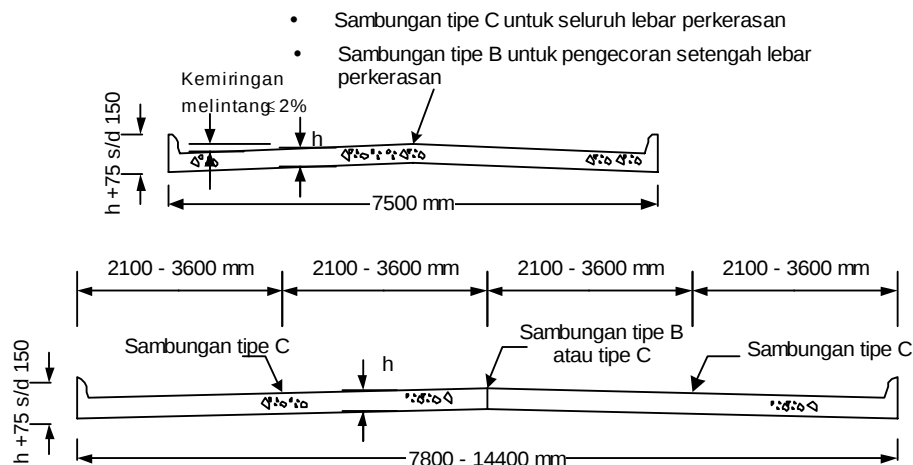
**Gambar 12 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada manhole****Gambar 13 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada lubang masuk saluran**

5.3.6.8 Pola sambungan

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mengikuti batasan-batasan sebagai berikut :

- Hindari bentuk panel yang tidak teratur. Usahakan bentuk panel persegi mungkin. Perbandingan maksimum panjang panel terhadap lebar adalah 1,25.
- Jarak maksimum sambungan memanjang 3 - 4 meter.
- Jarak maksimum sambungan melintang 25 kali tebal pelat, maksimum 5,0 meter.
- Semua sambungan susut harus menerus sampai kerb dan mempunyai kedalaman seperempat dan sepertiga dari tebal perkerasan masing-masing untuk lapis pondasi berbutir dan lapis stabilisasi semen.
- Antar sambungan harus bertemu pada satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur yang bersebelahan.
- Sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0,5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan.
- Apabila sambungan berada dalam area 1,5 meter dengan manhole atau bangunan yang lain, jarak sambungan harus diatur sedemikian rupa sehingga antara sambungan dengan manhole atau bangunan yang lain tersebut membentuk sudut tegak lurus. Hal tersebut berlaku untuk bangunan yang berbentuk bundar. Untuk bangunan berbentuk segi empat, sambungan harus berada pada sudutnya atau di antara dua sudut.
- Semua bangunan lain seperti *manhole* harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm yang meliputi keseluruhan tebal pelat.
- Perkerasan yang berdekatan dengan bangunan lain atau *manhole* harus ditebalkan 20% dari ketebalan normal dan berangsur-angsur berkurang sampai ketebalan normal sepanjang 1,5 meter seperti diperlihatkan pada Gambar 11b.
- Panel yang tidak persegi empat dan yang mengelilingi manhole harus diberi tulangan berbentuk anyaman sebesar 0,15% terhadap penampang beton semen dan dipasang 5 cm di bawah permukaan atas. Tulangan harus dihentikan 7,5 cm dari sambungan.

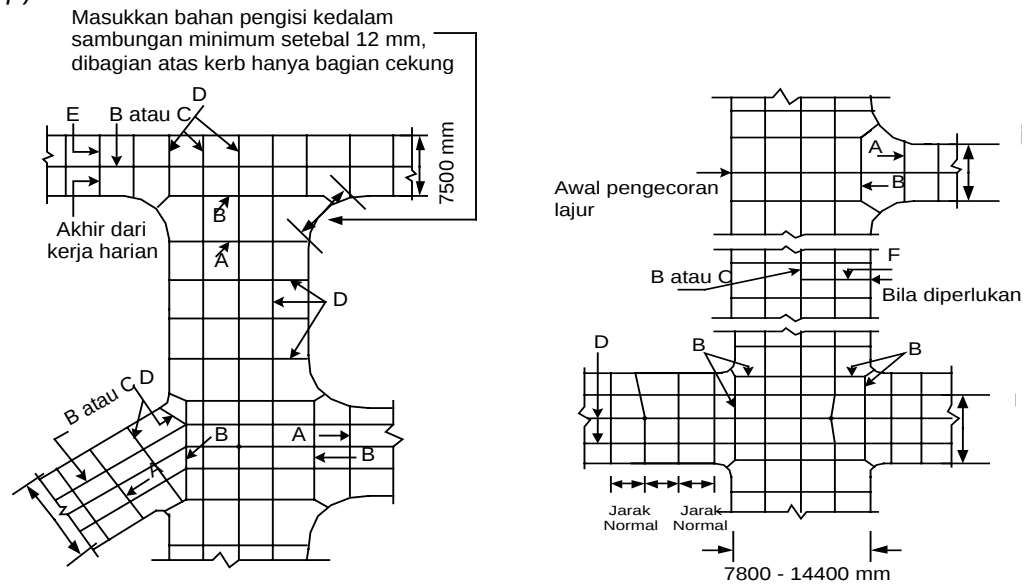
Tipikal pola sambungan diperlihatkan pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14 Potongan melintang perkerasan dan lokasi sambungan

5.3.6.9 Penutup sambungan

Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan atau benda lain ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelat beton yang saling menekan ke atas (*blow up*).



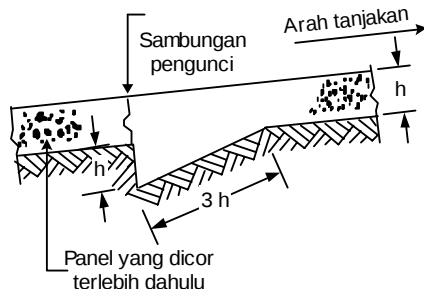
Gambar 15 Detail Potongan melintang sambungan perkerasan

Keterangan Gambar 14 dan 15 :

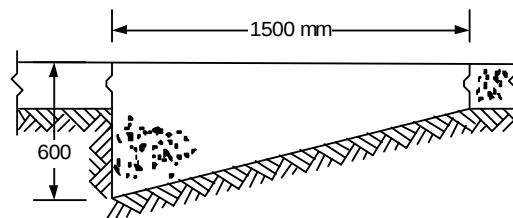
- A = Sambungan isolasi
- B = Sambungan pelaksanaan memanjang
- C = Sambungan susut memanjang
- D = Sambungan susut melintang
- E = Sambungan susut melintang yang direncanakan
- F = Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan

5.4 Perkerasan beton semen untuk kelandaian yang curam

Untuk jalan dengan kemiringan memanjang yang lebih besar dari 3%, perencanaan serta prosedur mengacu pada Butir 6 dan harus ditambah dengan angker panel (*panel anchored*) dan angker blok (*anchor block*). Jalan dengan kondisi ini harus dilengkapi dengan angker yang melintang untuk keseluruhan lebar pelat sebagaimana diuraikan pada Tabel 6 dan diperlihatkan pada Gambar 16 dan 17.



Gambar 16 Angker panel



Gambar 17 Angker blok

Tabel 6 Penggunaan angker panel dan angker blok pada jalan dengan kemiringan memanjang yang curam

Kemiringan (%)	Angker panel	Angker blok
3 – 6	Setiap panel ketiga	Pada bagian awal kemiringan
6 – 10	Setiap panel ke dua	Pada bagian awal kemiringan
> 10	Setiap panel	Pada bagian awal kemiringan dan pada setiap interval 30 meter berikutnya

Catatan : Panjang panel adalah jarak antara sambungan melintang

6 Prosedur perencanaan

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu :

- 1) Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- 2) Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji.

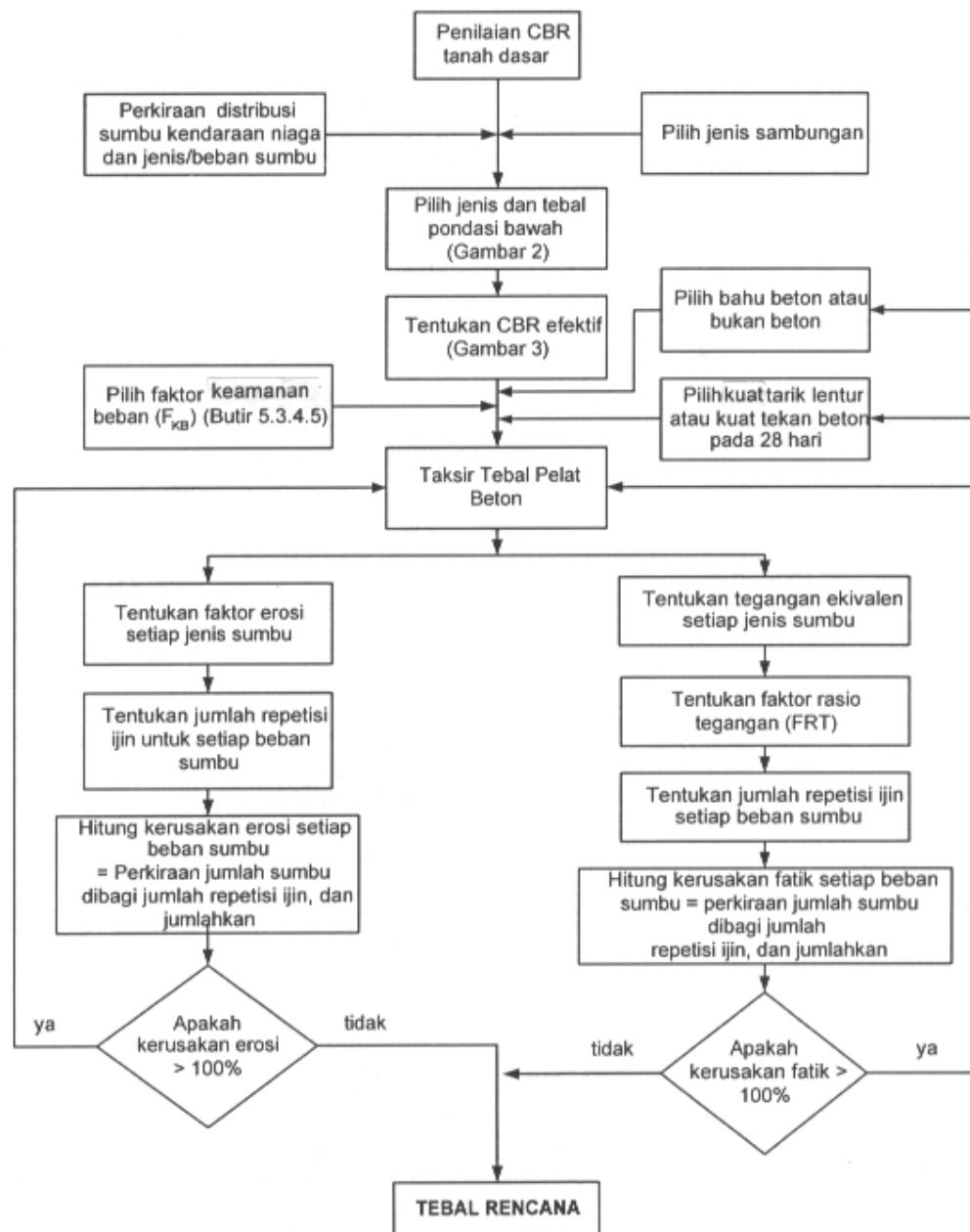
Data lalu-lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

6.1 Perencanaan tebal pelat

Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikan dan proses perencanaan diulangi.

Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%.

Langkah-langkah perencanaan tebal pelat diperlihatkan pada Gambar 18 dan Tabel 7.



Gambar 18 Sistem perencanaan perkerasan beton semen

Tabel 7 Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan beton semen

Langkah	Uraian Kegiatan
1	Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.
2	Tentukan apakah menggunakan bahu beton atau bukan.
3	Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2
4	Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih sesuai dengan Gambar 3,
5	Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_{ct})
6	Pilih faktor keamanan beban lalu lintas (F_{KB})
7	Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia atau dapat menggunakan Gambar 24 sampai dengan Gambar 31
8	Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari Tabel 8 atau Tabel 9
9	Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik-lentur (f_{ct}).
10	Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda ≥ 65 kN (6,5 ton), anggap dan gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi pada Gambar 19 sampai Gambar 21
11	Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 19, yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
12	Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
13	Dengan menggunakan faktor erosi (FE), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi, dari Gambar 20 atau 21.
14	Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
15	Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 19 dan Gambar 20 atau Gambar 21 yang masing-masing menapai 10 juta dan 100 juta repetisi.
16	Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
17	Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
18	Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
19	Ulangi langkah 7 sampai dengan langkah 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

Tabel 8 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
150	5	1.7	2.72	2.25	1.68	2.8	3.4	3.50	3.55	2.6	3.21	3.3	3.37
150	10	1.62	2.56	2.09	1.58	2.79	3.39	3.46	3.5	2.59	3.2	3.28	3.32
150	15	1.59	2.48	2.01	1.53	2.78	3.38	3.44	3.47	2.59	3.2	3.27	3.3
150	20	1.56	2.43	1.97	1.51	2.77	3.37	3.43	3.46	2.59	3.19	3.26	3.29
150	25	1.54	2.37	1.92	1.48	2.77	3.37	3.42	3.44	2.59	3.19	3.25	3.28
150	35	1.49	2.28	1.82	1.43	2.76	3.36	3.39	3.4	2.58	3.18	3.23	3.25
150	50	1.43	2.15	1.73	1.4	2.74	3.34	3.36	3.37	2.57	3.17	3.21	3.22
150	75	1.38	2.02	1.64	1.36	2.72	3.32	3.33	3.32	2.56	3.16	3.19	3.19
160	5	1.54	2.49	2.06	1.55	2.72	3.32	3.43	3.47	2.52	3.12	3.22	3.3
160	10	1.47	2.34	1.92	1.44	2.71	3.31	3.39	3.43	2.51	3.11	3.2	3.26
160	15	1.44	2.26	1.84	1.39	2.7	3.3	3.37	3.41	2.61	3.11	3.19	3.24
160	20	1.41	2.22	1.8	1.37	2.69	3.29	3.36	3.4	2.5	3.1	3.18	3.23
160	25	1.39	2.17	1.76	1.34	2.69	3.29	3.35	3.38	2.5	3.1	3.17	3.21
160	35	1.34	2.07	1.87	1.29	2.68	3.28	3.32	3.34	2.49	3.09	3.15	3.18
160	50	1.3	1.96	1.58	1.25	2.66	3.26	3.28	3.3	2.49	3.09	3.13	3.15
160	75	1.24	1.85	1.49	1.23	2.64	3.24	3.26	3.25	2.48	3.08	3.12	3.12
170	5	1.41	2.27	1.93	1.44	2.64	3.24	3.37	3.43	2.44	3.04	3.15	3.24
170	10	1.34	2.14	1.78	1.33	2.62	3.22	3.33	3.38	2.43	3.03	3.13	3.2
170	15	1.31	2.07	1.71	1.28	2.62	3.22	3.31	3.35	2.43	3.03	3.12	3.18
170	20	1.29	2.03	1.67	1.26	2.61	3.21	3.3	3.34	2.42	3.02	3.11	3.17
170	25	1.27	1.99	1.63	1.23	2.61	3.21	3.28	3.32	2.42	3.02	3.1	3.15
170	35	1.23	1.9	1.54	1.18	2.6	3.2	3.25	3.28	2.41	3.01	3.08	3.12
170	50	1.19	1.81	1.46	1.14	2.58	3.18	3.22	3.24	2.4	3.01	3.06	3.08
170	75	1.14	1.7	1.37	1.1	2.57	3.17	3.19	3.19	2.4	3	3.04	3.05
180	5	1.29	2.1	1.81	1.35	2.57	3.17	3.33	3.37	2.36	2.97	3.09	3.2
180	10	1.23	1.98	1.66	1.24	2.55	3.15	3.28	3.32	2.35	2.96	3.07	3.15
180	15	1.2	1.92	1.59	1.19	2.55	3.15	3.25	3.29	2.35	2.96	3.05	3.12
180	20	1.18	1.88	1.55	1.17	2.54	3.14	3.24	3.28	2.35	2.95	3.04	3.11
180	25	1.16	1.84	1.51	1.14	2.54	3.14	3.23	3.26	2.35	2.95	3.03	3.09
180	35	1.12	1.76	1.43	1.09	2.53	3.13	3.2	3.22	2.34	2.94	3.01	3.06
180	50	1.09	1.67	1.35	1.05	2.51	3.11	3.17	3.19	2.33	2.93	2.99	3.02
180	75	1.03	1.57	1.26	1.01	2.49	3.1	3.13	3.14	2.32	2.92	2.97	2.99
190	5	1.19	1.95	1.69	1.27	2.5	3.11	3.28	3.32	2.29	2.9	3.03	3.15
190	10	1.13	1.84	1.55	1.16	2.48	3.09	3.23	3.27	2.28	2.89	3	3.1
190	15	1.1	1.78	1.49	1.11	2.48	3.08	3.2	3.24	2.28	2.88	2.98	3.07
190	20	1.09	1.75	1.45	1.09	2.47	3.07	3.19	3.23	2.27	2.88	2.98	3.06
190	25	1.07	1.71	1.41	1.06	2.47	3.07	3.17	3.21	2.27	2.88	2.97	3.04
190	35	1.03	1.63	1.33	1.01	2.46	3.06	3.14	3.17	2.26	2.87	2.95	3
190	50	1	1.55	1.26	0.97	2.44	3.04	3.1	3.14	2.26	2.86	2.93	2.97
190	75	0.96	1.46	1.17	0.91	2.43	3.03	3.07	3.09	2.25	2.85	2.91	2.93
200	5	1.1	1.81	1.6	1.2	2.44	3.04	3.23	3.27	2.23	2.83	2.97	3.1
200	10	1.05	1.7	1.46	1.1	2.42	3.02	3.18	3.22	2.22	2.82	2.95	3.05
200	15	1.02	1.65	1.4	1.05	2.42	3.02	3.15	3.19	2.22	2.82	2.93	3.02
200	20	1.01	1.62	1.36	1.02	2.41	3.01	3.14	3.18	2.21	2.81	2.92	3.01
200	25	0.99	1.59	1.33	0.99	2.4	3.01	3.12	3.16	2.21	2.81	2.91	2.99
200	35	0.96	1.52	1.25	0.94	2.39	3	3.09	3.12	2.2	2.8	2.89	2.95
200	50	0.92	1.44	1.18	0.89	2.38	2.98	3.06	3.09	2.19	2.79	2.87	2.92
200	75	0.89	1.36	1.1	0.84	2.36	2.96	3	3.04	2.18	2.78	2.85	2.88
210	5	1.02	1.69	1.5	1.14	2.38	2.99	3.18	3.23	2.17	2.77	2.92	3.06
210	10	0.97	1.59	1.38	1.04	2.36	2.97	3.13	3.18	2.16	2.76	2.89	3.01
210	15	0.94	1.54	1.32	0.99	2.36	2.96	3.1	3.15	2.15	2.75	2.87	2.98
210	20	0.93	1.51	1.28	0.96	2.35	2.95	3.09	3.13	2.14	2.75	2.87	2.96
210	25	0.92	1.48	1.25	0.93	2.34	2.95	3.07	3.11	2.14	2.75	2.86	2.94
210	35	0.89	1.41	1.18	0.88	2.33	2.94	3.04	3.07	2.13	2.74	2.84	2.9
210	50	0.86	1.35	1.11	0.83	2.32	2.92	3.01	3.04	2.13	2.73	2.81	2.86
210	75	0.82	1.27	1.03	0.78	2.3	2.9	2.95	2.98	2.12	2.72	2.79	2.83

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 8 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
220	5	0.94	1.58	1.42	1.08	2.33	2.93	3.14	3.19	2.11	2.71	2.87	3.02
220	10	0.9	1.49	1.3	0.98	2.31	2.91	3.09	3.13	2.1	2.7	2.84	2.96
220	15	0.88	1.44	1.25	0.93	2.3	2.9	3.06	3.1	2.09	2.69	2.82	2.93
220	20	0.87	1.42	1.22	0.91	2.29	2.89	3.05	3.09	2.08	2.69	2.81	2.92
220	25	0.85	1.36	1.18	0.88	2.29	2.89	3.03	3.07	2.08	2.69	2.8	2.9
220	35	0.82	1.33	1.11	0.83	2.28	2.88	2.99	3.03	2.07	2.68	2.78	2.86
220	50	0.79	1.27	1.04	0.79	2.26	2.88	2.96	3	2.07	2.67	2.76	2.83
220	75	0.76	1.19	0.97	0.73	2.24	2.85	2.92	2.95	2.06	2.68	2.72	2.78
230	5	0.88	1.49	1.35	1.03	2.28	2.88	3.1	3.14	2.05	2.65	2.82	2.98
230	10	0.84	1.41	1.24	0.94	2.26	2.86	3.05	3.09	2.04	2.64	2.79	2.92
230	15	0.82	1.38	1.19	0.89	2.25	2.85	3.02	3.06	2.03	2.64	2.77	2.89
230	20	0.81	1.34	1.16	0.87	2.24	2.84	3	3.05	2.03	2.63	2.76	2.88
230	25	0.8	1.31	1.12	0.84	2.23	2.83	2.98	3.03	2.03	2.63	2.75	2.86
230	35	0.77	1.25	1.05	0.78	2.21	2.81	2.94	2.99	2.02	2.62	2.73	2.82
230	50	0.74	1.19	0.99	0.74	2.2	2.8	2.91	2.95	2.01	2.61	2.7	2.78
230	75	0.71	1.12	0.91	0.7	2.19	2.79	2.86	2.91	2	2.6	2.68	2.74
240	5	0.82	1.4	1.29	0.98	2.23	2.83	3.06	3.11	1.99	2.6	2.78	2.94
240	10	0.79	1.32	1.18	0.89	2.21	2.81	3.01	3.05	1.98	2.59	2.74	2.88
240	15	0.77	1.28	1.13	0.85	2.2	2.8	2.98	3.02	1.98	2.58	2.72	2.85
240	20	0.76	1.26	1.1	0.83	2.19	2.79	2.96	3.01	1.97	2.57	2.72	2.84
240	25	0.75	1.23	1.06	0.8	2.18	2.78	2.94	2.99	1.97	2.57	2.71	2.82
240	35	0.72	1.17	0.99	0.74	2.17	2.76	2.9	2.95	1.96	2.56	2.69	2.78
240	50	0.69	1.12	0.94	0.7	2.15	2.75	2.88	2.91	1.95	2.55	2.66	2.74
240	75	0.67	1.05	0.86	0.66	2.13	2.74	2.83	2.88	1.94	2.54	2.63	2.69
250	5	0.77	1.33	1.23	0.94	2.18	2.78	3.02	3.07	1.94	2.54	2.73	2.9
250	10	0.74	1.25	1.12	0.86	2.16	2.76	2.97	3.01	1.93	2.53	2.7	2.85
250	15	0.72	1.21	1.07	0.81	2.15	2.75	2.94	2.98	1.93	2.53	2.68	2.82
250	20	0.71	1.18	1.04	0.79	2.14	2.74	2.93	2.97	1.92	2.52	2.67	2.8
250	25	0.7	1.16	1.01	0.76	2.13	2.73	2.91	2.95	1.92	2.52	2.66	2.78
250	35	0.68	1.11	0.95	0.71	2.12	2.71	2.87	2.91	1.91	2.51	2.64	2.74
250	50	0.65	1.06	0.89	0.67	2.1	2.7	2.83	2.88	1.9	2.5	2.61	2.7
250	75	0.63	0.99	0.82	0.61	2.08	2.69	2.79	2.83	1.89	2.49	2.59	2.65
260	5	0.73	1.26	1.18	0.9	2.13	2.73	2.99	3.03	1.89	2.49	2.69	2.87
260	10	0.7	1.18	1.08	0.82	2.11	2.71	2.93	2.98	1.88	2.48	2.66	2.81
260	15	0.68	1.15	1.03	0.78	2.1	2.7	2.9	2.95	1.88	2.48	2.64	2.78
260	20	0.67	1.12	1	0.75	2.09	2.69	2.89	2.93	1.87	2.47	2.63	2.76
260	25	0.66	1.1	0.97	0.73	2.08	2.69	2.87	2.91	1.87	2.47	2.62	2.74
260	35	0.64	1.05	0.91	0.68	2.07	2.68	2.83	2.87	1.86	2.46	2.59	2.7
260	50	0.61	1	0.85	0.64	2.05	2.65	2.8	2.84	1.85	2.45	2.56	2.67
260	75	0.59	0.95	0.78	0.58	2.03	2.64	2.75	2.78	1.84	2.44	2.54	2.61
270	5	0.68	1.19	1.13	0.87	2.09	2.69	2.95	3	1.84	2.44	2.65	2.83
270	10	0.66	1.12	1.03	0.79	2.07	2.67	2.9	2.94	1.83	2.43	2.62	2.78
270	15	0.64	1.05	0.98	0.75	2.06	2.66	2.87	2.91	1.83	2.43	2.6	2.75
270	20	0.63	1.06	0.96	0.72	2.05	2.65	2.85	2.9	1.82	2.42	2.59	2.73
270	25	0.62	1.04	0.93	0.7	2.04	2.64	2.83	2.88	1.82	2.42	2.58	2.7
270	35	0.6	0.99	0.87	0.65	2.02	2.63	2.79	2.84	1.81	2.41	2.55	2.67
270	50	0.58	0.95	0.81	0.61	2	2.61	2.76	2.8	1.8	2.4	2.52	2.63
270	75	0.56	0.89	0.74	0.57	1.99	2.59	2.7	2.75	1.79	2.39	2.5	2.58
280	5	0.65	1.13	1.08	0.83	2.05	2.65	2.92	2.97	1.8	2.4	2.62	2.8
280	10	0.62	1.06	0.99	0.75	2.03	2.63	2.86	2.91	1.79	2.39	2.58	2.74
280	15	0.6	1.03	0.94	0.72	2.01	2.62	2.83	2.88	1.78	2.38	2.56	2.71
280	20	0.6	1.01	0.92	0.69	2	2.61	2.82	2.87	1.77	2.37	2.55	2.7
280	25	0.59	0.99	0.89	0.67	1.99	2.6	2.8	2.85	1.77	2.37	2.54	2.68
280	35	0.57	0.94	0.83	0.62	1.97	2.58	2.76	2.81	1.76	2.36	2.51	2.64
280	50	0.55	0.9	0.78	0.59	1.96	2.56	2.72	2.77	1.75	2.35	2.48	2.6
280	75	0.53	0.86	0.71	0.53	1.94	2.55	2.68	2.72	1.74	2.34	2.46	2.55
STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su													

Tabel 8 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
290	5	0,61	1,08	1,04	0,8	2,01	2,61	2,89	2,93	1,75	2,35	2,58	2,77
290	10	0,59	1,01	0,95	0,73	1,99	2,59	2,83	2,88	1,74	2,34	2,54	2,71
290	15	0,58	0,98	0,9	0,7	1,97	2,58	2,8	2,85	1,74	2,34	2,52	2,68
290	20	0,57	0,96	0,88	0,67	1,96	0,2	2,79	2,83	1,73	2,33	2,51	2,67
290	25	0,56	0,94	0,85	0,65	1,95	2,56	2,77	2,81	1,73	2,33	2,5	2,65
290	35	0,54	90	80	60	1,93	2,54	2,73	2,77	1,72	2,32	2,47	2,61
290	50	0,52	86	75	56	1,92	2,52	2,69	2,74	1,71	2,31	2,44	2,56
290	75	0,5	0,81	0,68	0,52	1,9	2,5	2,64	2,68	1,7	2,3	2,42	2,51
300	5	0,58	1,03	1	0,77	1,97	2,57	2,86	2,9	1,71	2,31	2,55	2,74
300	10	0,56	0,97	0,91	0,7	1,95	2,55	2,8	2,85	1,7	2,3	2,51	2,68
300	15	0,55	0,94	0,87	0,67	1,93	2,54	2,77	2,82	1,69	2,3	2,49	2,65
300	20	0,54	0,92	0,85	0,65	1,92	2,53	2,76	2,8	1,68	2,29	2,48	2,64
300	25	0,53	0,9	0,82	0,63	1,91	2,52	2,74	2,78	1,68	2,29	2,46	2,62
300	35	0,51	0,86	0,77	0,58	1,89	2,5	2,7	2,74	1,67	2,28	2,43	2,58
300	50	0,49	0,82	0,72	0,54	1,88	2,48	2,66	2,7	1,66	2,26	2,41	2,53
300	75	0,47	0,78	0,65	0,5	1,86	2,46	2,61	2,65	1,65	2,26	2,37	2,48
310	5	0,55	0,98	0,97	0,74	1,94	2,54	2,83	2,88	1,67	2,27	2,51	2,71
310	10	0,53	0,92	0,89	0,68	1,91	2,51	2,77	2,82	1,66	2,26	2,47	2,65
310	15	0,52	0,89	0,84	0,65	1,89	2,49	1,65	2,79	1,65	2,25	2,45	2,62
310	20	0,51	0,88	0,82	0,63	1,89	2,49	1,64	2,77	1,64	2,24	2,44	2,61
310	25	0,5	0,86	0,79	0,6	1,88	2,48	1,64	2,75	1,64	2,24	2,43	2,592
310	35	0,49	0,82	0,74	0,55	1,86	2,46	1,63	2,71	1,63	2,23	2,4	2,55
310	50	0,47	0,78	0,69	0,51	1,84	2,44	1,62	2,67	1,62	2,22	2,37	2,5
310	75	0,45	0,74	0,63	0,48	1,82	2,42	2,58	2,62	1,61	2,21	2,34	2,45
320	5	0,53	0,94	0,93	0,71	1,9	2,5	2,8	2,85	1,63	2,23	2,48	2,69
320	10	0,51	0,88	0,85	0,65	1,87	2,48	2,74	2,79	1,62	2,22	2,44	2,63
320	15	0,5	0,85	0,81	0,62	1,85	2,46	2,71	2,76	1,61	2,21	2,42	2,6
320	20	0,49	0,84	0,79	0,6	1,85	2,45	2,7	2,74	1,6	2,2	2,41	2,58
320	25	0,48	0,82	0,76	0,58	1,84	2,44	2,68	2,72	1,6	2,2	2,4	2,56
320	35	0,46	0,78	0,71	0,54	1,82	2,42	2,64	2,68	1,59	2,19	2,37	2,52
320	50	0,44	0,75	0,67	0,51	1,8	2,4	2,6	2,64	1,58	2,18	2,33	2,47
320	75	0,43	0,71	0,61	0,45	1,78	2,38	2,55	2,59	1,57	2,17	2,31	2,42
330	5	0,5	0,9	0,9	0,69	1,87	2,47	2,78	2,82	1,59	2,19	2,45	2,66
330	10	0,48	0,85	0,82	0,63	1,84	2,44	2,72	2,76	1,58	2,18	2,41	2,6
330	15	0,47	0,82	0,79	0,6	1,82	2,42	2,69	2,73	1,57	2,17	2,39	2,57
330	20	0,46	0,8	0,76	0,58	1,81	2,42	2,67	2,72	1,56	2,16	2,38	2,55
330	25	0,46	0,78	0,74	0,56	1,8	2,41	2,65	2,7	1,56	2,16	2,36	2,53
330	35	0,45	0,74	0,69	0,52	1,78	2,39	2,61	2,66	1,55	2,15	2,33	2,49
330	50	0,42	0,71	0,64	0,48	1,76	2,36	2,57	2,62	1,54	2,14	2,3	2,45
330	75	0,41	0,68	0,59	0,45	1,74	2,35	2,52	2,57	1,53	2,13	2,28	2,4
340	5	0,48	0,86	0,87	0,65	1,84	2,44	2,75	2,79	1,55	2,15	2,42	2,63
340	10	0,46	0,8	0,79	0,61	1,81	2,41	2,69	2,74	1,54	2,14	2,38	2,57
340	15	0,45	0,78	0,76	0,58	1,79	2,39	2,66	2,71	1,53	2,14	2,36	2,54
340	20	0,44	0,77	0,73	0,57	1,78	2,38	2,64	2,69	1,52	2,13	2,35	2,52
340	25	0,44	0,75	0,71	0,55	1,77	2,37	2,62	2,67	1,52	2,12	2,33	2,5
340	35	0,43	0,72	0,66	0,51	1,75	2,35	2,58	2,63	1,51	2,11	2,3	2,46
340	50	0,4	0,68	0,62	0,47	1,73	2,33	2,54	2,59	1,5	2,1	2,27	2,42
340	75	0,39	0,65	0,56	0,43	1,71	2,31	2,49	2,54	1,49	2,09	2,24	2,37
350	5	0,46	0,83	0,85	0,63	1,8	2,41	2,72	2,77	1,51	2,11	2,39	2,61
350	10	0,44	0,78	0,77	0,59	1,77	2,38	2,67	2,71	1,5	2,1	2,35	2,55
350	15	0,43	0,75	0,74	0,56	1,75	2,36	2,64	2,68	1,5	2,1	2,33	2,52
350	20	0,42	0,74	0,71	0,55	1,75	2,35	2,62	2,66	1,49	2,09	2,32	2,5
350	25	0,42	0,72	0,69	0,53	1,74	2,34	2,6	2,64	1,49	2,09	2,3	2,48
350	35	0,41	0,69	0,64	0,49	1,72	2,32	2,56	2,6	1,48	2,08	2,27	2,44
350	50	0,39	0,65	0,6	0,46	1,69	2,29	2,52	2,56	1,46	2,07	2,24	2,39
350	75	0,37	0,62	0,54	0,42	1,67	2,28	2,47	2,51	1,46	2,06	2,21	2,34

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
150	5	1,42	2,16	1,81	1,45	2,34	2,92	2,99	3	2,14	2,74	2,78	2,81
150	10	1,36	2,04	1,7	1,39	2,32	2,92	2,94	2,94	2,13	2,72	2,73	2,75
150	15	1,33	1,98	1,65	1,36	2,32	2,92	2,91	2,91	2,12	2,72	2,7	2,72
150	20	1,32	1,94	1,62	1,35	2,31	2,91	2,9	2,9	2,11	2,71	2,69	2,7
150	25	1,3	1,9	1,59	1,33	2,3	2,9	2,88	2,88	2,1	2,7	2,67	2,67
150	35	1,27	1,82	1,53	1,3	2,29	2,89	2,85	2,84	2,08	2,69	2,64	2,63
150	50	1,23	1,74	1,49	0,1	2,27	2,87	2,82	2,81	2,06	2,67	2,6	2,59
150	75	1,2	1,65	1,43	1,26	2,25	2,85	2,79	2,77	2,04	2,65	2,57	2,56
160	5	1,29	1,98	1,67	1,33	2,26	2,87	2,93	2,95	2,06	2,66	2,72	2,77
160	10	1,24	1,87	1,56	1,26	2,24	2,85	2,88	2,89	2,04	2,64	2,67	2,69
160	15	1,21	1,82	1,51	1,23	2,24	2,84	2,85	2,86	2,04	2,64	2,64	2,66
160	20	1,2	1,79	1,49	1,21	2,23	2,83	2,84	2,84	2,03	2,63	2,62	2,64
160	25	1,18	1,75	1,46	1,2	2,23	2,83	2,82	2,82	2,02	2,62	2,6	2,62
160	35	1,15	1,67	1,41	1,17	2,22	2,82	2,79	2,78	2	2,61	2,56	2,57
160	50	1,12	1,6	1,36	1,15	2,2	2,8	2,75	2,75	1,98	2,59	2,53	2,53
160	75	1,1	1,52	1,3	1,13	2,18	2,78	2,72	2,69	1,97	2,57	2,5	2,49
170	5	1,17	1,83	1,55	1,22	2,19	2,8	2,88	2,9	1,99	2,59	2,66	2,72
170	10	1,13	1,73	1,45	1,16	2,17	2,78	2,83	2,84	1,97	2,57	2,61	2,64
170	15	1,11	1,68	1,4	1,13	2,17	2,77	2,8	2,81	1,96	2,57	2,58	2,61
170	20	1,1	1,65	1,38	1,12	2,16	2,76	2,79	2,79	1,95	2,56	2,57	2,59
170	25	1,08	1,62	1,35	1,1	2,16	2,76	2,77	2,77	1,95	2,55	2,55	2,57
170	35	1,05	1,55	1,3	1,07	2,15	2,75	2,73	2,73	1,94	2,53	2,51	2,53
170	50	1,03	1,49	1,25	1,04	2,13	2,73	2,7	2,71	1,91	2,51	2,47	2,48
170	75	1,02	1,41	1,19	1,03	2,11	2,71	2,66	2,64	1,89	2,49	2,43	2,43
180	5	1,07	1,7	1,44	1,13	2,13	2,73	2,83	2,86	1,92	2,52	2,61	2,68
180	10	1,03	1,6	1,35	1,07	2,11	2,71	2,78	2,79	1,9	2,5	2,56	2,6
180	15	1,01	1,55	1,3	1,04	2,1	2,71	2,75	2,76	1,89	2,5	2,53	2,57
180	20	1,01	1,53	1,28	1,03	2,09	2,7	2,73	2,74	1,88	2,49	2,51	2,54
180	25	1	1,5	1,25	1,01	2,09	2,69	2,71	2,72	1,88	2,48	2,49	2,52
180	35	0,98	1,44	1,2	0,98	2,08	2,68	2,67	2,68	1,87	2,46	2,45	2,47
180	50	0,95	1,38	1,16	0,96	2,06	2,66	2,64	2,64	1,84	2,44	2,42	2,42
180	75	0,94	1,31	1,1	0,94	2,04	2,64	2,61	2,6	1,82	2,42	2,36	2,37
190	5	0,99	1,58	1,35	1,05	2,07	2,67	2,78	2,82	1,86	2,46	2,57	2,64
190	10	0,96	1,49	1,26	0,99	2,05	2,65	2,72	2,75	1,84	2,44	2,51	2,56
190	15	0,94	1,44	1,21	0,97	2,04	2,64	2,7	2,72	1,83	2,43	2,48	2,53
190	20	0,93	1,42	1,19	0,96	2,03	2,63	2,69	2,7	1,82	2,42	2,46	2,5
190	25	0,92	1,4	1,17	0,94	2,03	2,63	2,67	2,68	1,81	2,41	2,44	2,48
190	35	0,9	1,35	1,12	0,91	2,02	2,62	2,63	2,64	1,79	2,4	2,4	2,43
190	50	0,88	1,29	1,08	0,88	2	2,6	2,6	2,6	1,77	2,38	2,36	2,38
190	75	0,87	1,22	1,02	0,86	1,98	2,58	2,55	2,55	1,76	2,36	2,32	2,31
200	5	0,91	1,47	1,27	0,99	2,01	2,61	2,74	2,78	1,8	2,4	2,52	2,6
200	10	0,89	1,39	1,18	0,93	1,99	2,59	2,69	2,71	1,78	2,38	2,46	2,52
200	15	0,87	1,35	1,15	0	1,98	2,59	2,66	2,68	1,77	2,37	2,43	2,48
200	20	0,86	1,33	1,12	0,99	1,97	2,58	2,64	2,66	1,76	2,36	2,42	2,48
200	25	0,85	1,3	1,1	0,87	1,97	2,57	2,62	2,64	1,75	2,35	2,4	2,44
200	35	0,83	1,25	1,05	0,84	1,96	2,56	2,58	2,6	1,73	2,33	2,36	2,39
200	50	0,82	1,2	1,01	0,82	1,94	2,54	2,54	2,55	1,71	2,31	2,32	2,33
200	75	0,81	1,14	0,95	0,8	1,92	2,52	2,51	2,5	1,69	2,3	2,27	2,28
210	5	0,85	1,38	1,2	0,93	1,96	2,56	2,7	2,75	1,74	2,34	2,48	2,57
210	10	0,82	1,3	1,11	0,87	1,94	2,54	2,65	2,67	1,72	2,32	2,42	2,49
210	15	0,8	1,27	1,08	0,84	1,93	2,53	2,62	2,64	1,71	2,31	2,39	2,45
210	20	0,8	1,24	1,05	0,83	1,92	2,52	2,6	2,62	1,7	2,3	2,37	2,43
210	25	0,79	1,22	1,03	0,81	1,91	2,51	2,58	2,6	1,69	2,29	2,35	2,4
210	35	0,77	1,17	0,98	0,78	1,9	2,49	2,54	2,56	1,67	2,28	2,31	2,34
210	50	0,76	1,13	0,94	0,76	1,88	2,48	2,51	2,51	1,65	2,26	2,27	2,29
210	75	0,75	1,07	0,9	0,74	1,86	2,47	2,45	2,46	1,64	2,24	2,22	2,22
STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su													

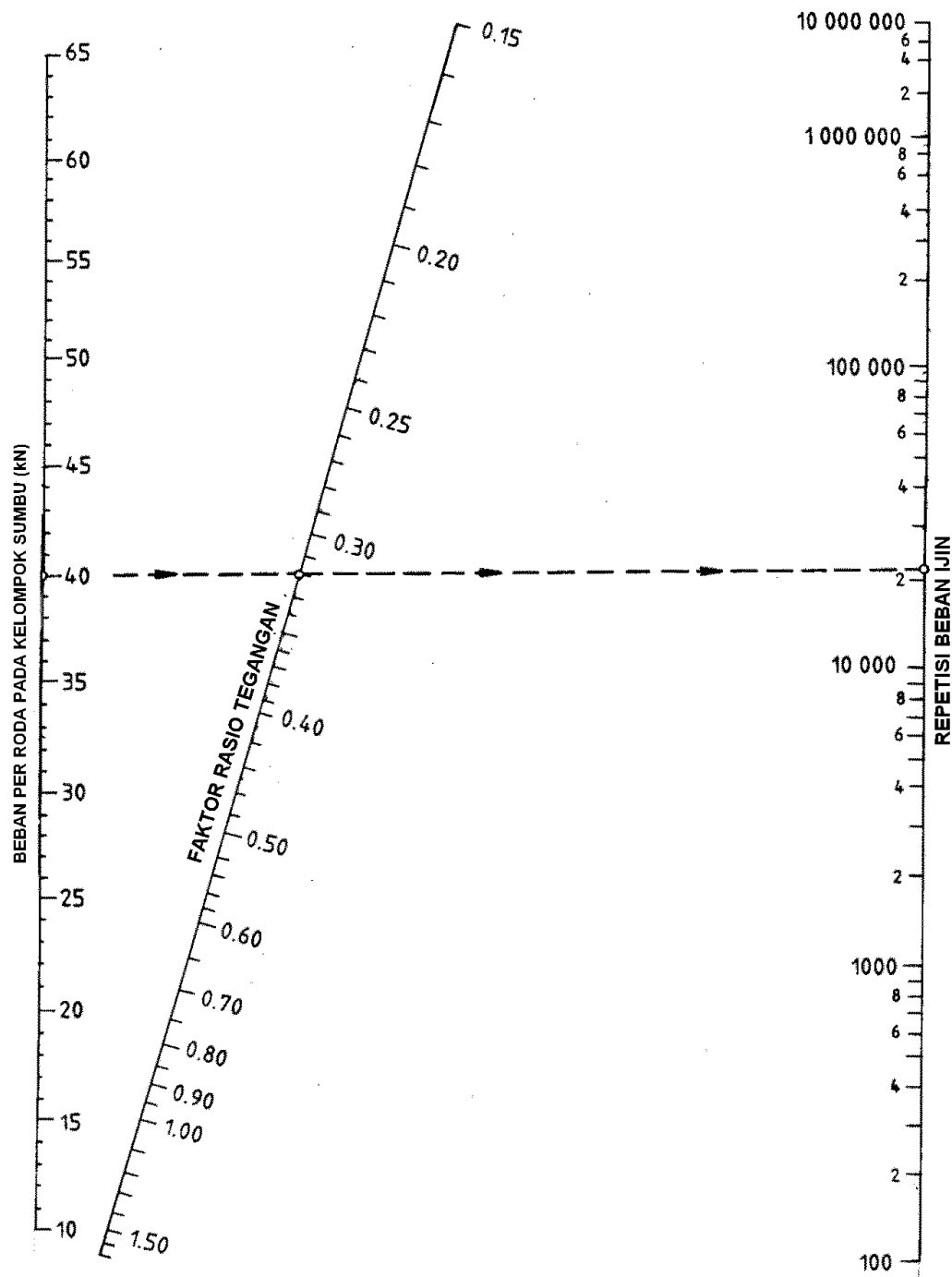
Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
220	5	0,79	1,3	1,13	0,87	1,91	2,51	2,67	2,72	1,68	2,29	2,44	2,54
220	10	0,77	1,22	1,05	0,81	1,89	2,49	2,61	2,64	1,66	2,27	2,38	2,46
220	15	0,76	1,19	1,02	0,79	1,88	2,48	2,58	2,61	1,66	2,26	2,35	2,42
220	20	0,75	1,17	0,99	0,78	1,87	2,47	2,56	2,58	1,65	2,25	2,33	2,39
220	25	0,74	1,15	0,97	0,76	1,86	2,46	2,54	2,56	1,64	2,24	2,31	2,37
220	35	0,72	1,11	0,92	0,73	1,85	2,45	2,5	2,52	1,62	2,22	2,27	2,32
220	50	0,71	1,06	0,88	0,71	1,83	2,43	2,47	2,48	1,6	2,2	2,23	2,26
220	75	0,7	1,01	0,85	0,69	1,81	2,41	2,41	2,41	1,58	2,18	2,18	2,19
230	5	0,74	1,22	1,08	0,82	1,86	2,46	2,63	2,69	1,63	2,23	2,4	2,5
230	10	0,72	1,15	1	0,77	1,84	2,44	2,57	2,61	1,61	2,21	2,34	2,42
230	15	0,71	1,12	0,97	0,75	1,83	2,43	2,54	2,58	1,6	2,21	2,31	2,39
230	20	0,7	1,1	0,94	0,74	1,82	2,42	2,52	2,55	1,59	2,2	2,29	2,36
230	25	0,69	1,08	0,92	0,72	1,81	2,41	2,5	2,53	1,58	2,19	2,27	2,34
230	35	0,68	1,04	0,87	0,69	1,8	2,4	2,46	2,48	1,56	2,17	2,23	2,28
230	50	0,67	1	0,83	0,67	1,78	2,38	2,43	2,44	1,54	2,15	2,19	2,22
230	75	0,66	0,96	0,8	0,65	1,76	2,36	2,37	2,37	1,53	2,13	2,12	2,16
240	5	0,69	1,16	1,02	0,78	1,81	2,41	2,6	2,66	1,58	2,18	2,36	2,47
240	10	0,67	1,09	0,95	0,72	1,79	2,39	2,54	2,58	1,56	2,17	2,3	2,39
240	15	0,66	1,06	0,92	0,7	1,78	2,38	2,51	2,55	1,55	2,15	2,27	2,36
240	20	0,65	1,04	0,89	0,69	1,77	2,37	2,49	2,52	1,54	2,14	2,25	2,33
240	25	0,65	1,02	0,87	0,68	1,76	2,36	2,47	2,5	1,53	2,13	2,23	2,31
240	35	0,64	0,98	0,83	0,66	1,75	2,35	2,43	2,45	1,51	2,11	2,19	2,25
240	50	0,63	0,95	0,79	0,63	1,73	2,33	2,39	2,41	1,49	2,1	2,15	2,19
240	75	0,62	0,89	0,76	0,61	1,71	2,31	2,34	2,34	1,48	2,08	2,1	2,13
250	5	0,65	1,09	0,98	0,73	1,77	2,37	2,56	2,63	1,54	2,14	2,32	2,45
250	10	0,63	1,03	0,9	0,69	1,74	2,35	2,5	2,55	1,52	2,12	2,26	2,37
250	15	0,62	1	0,87	0,67	1,73	2,34	2,47	2,52	1,5	2,11	2,23	2,33
250	20	0,61	0,99	0,85	0,66	1,72	2,33	2,45	2,49	1,49	2,1	2,22	2,3
250	25	0,61	0,97	0,83	0,64	1,72	2,32	2,43	2,47	1,48	2,09	2,2	2,28
250	35	0,6	0,93	0,79	0,61	1,71	2,3	2,39	2,42	1,4	2,07	2,16	2,22
250	50	0,59	0,9	0,75	0,59	1,68	2,28	2,36	2,38	1,44	2,05	2,11	2,16
250	75	0,58	0,86	0,72	0,57	1,66	2,27	2,3	2,31	1,43	2,03	2,06	2,1
260	5	0,61	1,04	0,93	0,71	1,72	2,33	2,53	2,61	1,49	2,09	2,29	2,42
260	10	0,6	0,98	0,86	0,66	1,7	2,3	2,47	2,53	1,47	2,07	2,23	2,34
260	15	0,59	0,95	0,83	0,63	1,69	2,28	2,44	2,49	1,46	2,06	2,2	2,3
260	20	0,58	0,94	0,81	0,62	1,68	2,28	2,42	2,46	1,45	2,05	2,18	2,28
260	25	0,57	0,92	0,79	0,61	1,67	2,27	2,4	2,44	1,44	2,04	2,16	2,25
260	35	0,56	0,88	0,75	0,59	1,66	2,26	2,36	2,39	1,42	2,02	2,12	2,19
260	50	0,56	0,85	0,71	0,56	1,64	2,24	2,32	2,35	1,4	2	2,08	2,13
260	75	0,55	0,81	0,68	0,54	1,62	2,22	2,27	2,28	1,38	1,98	2,01	2,06
270	5	0,57	0,99	0,89	0,66	1,68	2,28	2,5	2,58	1,45	2,05	2,25	2,39
270	10	0,55	0,93	0,83	0,62	1,66	2,26	2,44	2,5	1,43	2,03	2,2	2,31
270	15	0,55	0,9	0,8	0,6	1,65	2,25	2,41	2,47	1,41	2,02	2,17	2,27
270	20	0,54	0,89	0,78	0,59	1,64	2,24	2,39	2,44	1,4	2,01	2,15	2,25
270	25	0,54	0,87	0,76	0,58	1,63	2,23	2,37	2,42	1,39	2	2,13	2,22
270	35	0,53	0,84	0,72	0,56	1,61	2,22	2,33	2,37	1,37	1,98	2,09	2,16
270	50	0,53	0,8	0,68	0,53	1,59	2,2	2,29	2,32	1,35	1,96	2,04	2,11
270	75	0,52	0,77	0,65	0,52	1,58	2,18	2,24	2,25	1,34	1,94	1,99	2,03
280	5	0,54	0,94	0,86	0,63	1,64	2,25	2,48	2,56	1,4	2,01	2,22	2,37
280	10	0,52	0,89	0,79	0,6	1,62	2,22	2,41	2,48	1,38	1,99	2,16	2,29
280	15	0,52	0,86	0,76	0,58	1,61	2,2	2,38	2,44	1,37	1,97	2,13	2,25
280	20	0,51	0,85	0,74	0,57	1,6	2,2	2,36	2,42	1,36	1,96	2,12	2,22
280	25	0,51	0,83	0,73	0,56	1,59	2,19	2,34	2,39	1,35	1,95	2,1	2,2
280	35	0,5	0,8	0,69	0,54	1,57	2,18	2,3	2,34	1,33	1,93	2,06	2,14
280	50	0,5	0,76	0,66	0,51	1,55	2,16	2,26	2,29	1,31	1,91	2,01	2,08
280	75	0,49	0,74	0,62	0,49	1,54	2,14	2,21	2,22	1,29	1,89	1,96	2

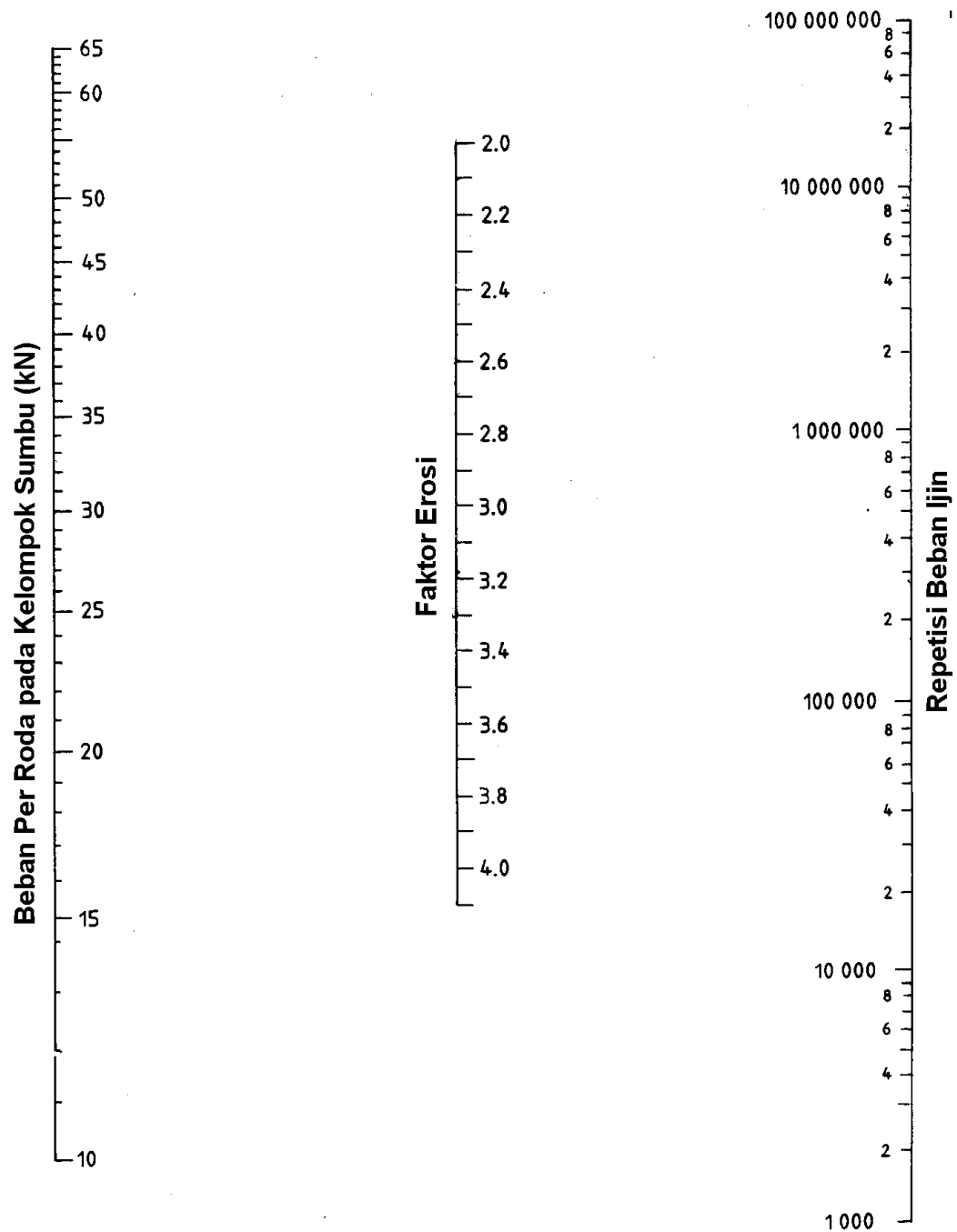
STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton (lanjutan)

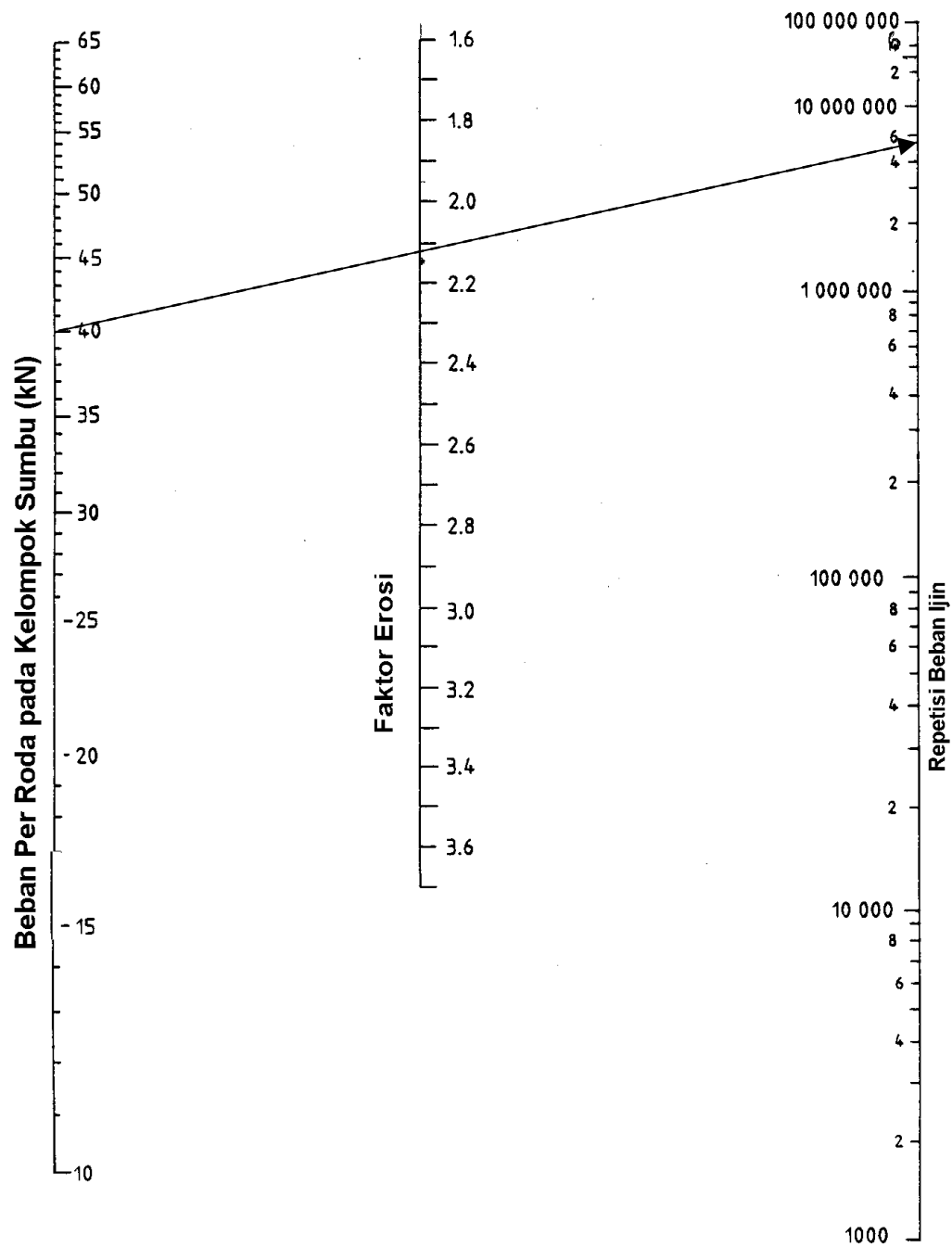
Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
290	5	0,51	0,9	0,82	0,6	1,61	2,21	2,45	2,54	1,36	1,97	2,19	2,34
290	10	0,5	0,85	0,76	0,57	1,58	2,18	2,39	2,46	1,34	1,94	2,13	2,26
290	15	0,5	0,82	0,73	0,55	1,56	2,16	2,36	2,42	1,33	1,92	2,1	2,22
290	20	0,49	0,81	0,72	0,54	1,56	2,16	2,34	2,39	1,32	1,92	2,08	2,2
290	25	0,49	0,79	0,7	0,53	1,55	2,15	2,32	2,37	1,31	1,91	2,06	2,17
290	35	0,48	0,76	0,66	0,51	1,53	2,14	2,28	2,32	1,29	1,89	2,02	2,11
290	50	0,47	0,73	0,63	0,49	1,51	2,12	2,23	2,27	1,27	1,87	1,98	2,05
290	75	0,47	0,7	0,6	0,47	1,5	2,1	2,18	2,19	1,25	1,85	1,93	1,98
300	5	0,49	0,86	0,79	0,58	1,57	2,17	2,42	2,52	1,32	1,93	2,16	2,32
300	10	0,48	0,81	0,73	0,55	1,55	2,15	2,36	2,44	1,3	1,91	2,1	2,24
300	15	0,47	0,78	0,7	0,53	1,53	2,14	2,33	2,4	1,29	1,89	2,07	2,2
300	20	0,46	0,77	0,69	0,52	1,52	2,13	2,31	2,37	1,28	1,88	2,05	2,18
300	25	0,48	0,76	0,67	0,51	1,51	2,12	2,29	2,35	1,27	1,87	2,03	2,15
300	35	0,46	0,73	0,64	0,49	1,49	2,1	2,25	2,3	1,25	1,85	1,99	2,09
300	50	0,45	0,7	0,6	0,46	1,48	2,08	2,2	2,24	1,23	1,83	1,95	2,03
300	75	0,45	0,67	0,57	0,45	1,46	2,06	2,15	2,17	1,21	1,81	1,9	1,95
310	5	0,46	0,81	0,76	0,55	1,54	2,14	2,4	2,5	1,29	1,89	2,13	2,3
310	10	0,4	0,77	0,7	0,52	1,51	2,11	2,33	2,42	1,27	1,87	2,07	2,22
310	15	0,45	0,75	0,68	0,5	1,49	2,09	2,3	2,38	1,25	1,86	2,04	2,18
310	20	0,44	0,74	0,66	0,5	1,49	2,09	2,28	2,35	1,24	1,85	2,03	2,15
310	25	0,44	0,72	0,64	0,49	1,48	2,08	2,26	2,33	1,23	1,84	2,01	2,13
310	35	0,43	0,69	0,61	0,47	1,48	2,06	2,22	2,28	1,21	1,82	1,97	2,07
310	50	0,43	0,67	0,58	0,44	1,44	2,04	2,18	2,22	1,19	1,79	1,92	2,01
310	75	0,42	0,63	0,54	0,43	1,42	2,02	2,13	2,15	1,17	1,77	1,87	1,93
320	5	0,44	0,78	0,74	0,53	1,5	2,11	2,37	2,48	1,25	1,85	2,1	2,27
320	10	0,43	0,74	0,68	0,5	1,48	2,08	2,31	2,4	1,23	1,83	2,05	2,19
320	15	0,43	0,72	0,65	0,48	1,46	2,06	2,28	2,36	1,22	1,82	2,02	2,15
320	20	0,42	0,71	0,64	0,48	1,45	2,06	2,26	2,33	1,21	1,81	2	2,13
320	25	0,42	0,69	0,62	0,47	1,44	2,05	2,24	2,31	1,2	1,8	1,98	2,1
320	35	0,41	0,66	0,59	0,45	1,42	2,03	2,2	2,26	1,18	1,78	1,94	2,04
320	50	0,41	0,64	0,55	0,43	1,41	2,01	2,15	2,2	1,15	1,76	1,89	1,98
320	75	0,41	0,62	0,53	0,41	1,39	1,99	2,1	2,12	1,13	1,74	1,84	1,91
330	5	0,42	0,74	0,71	0,51	1,47	2,07	2,35	2,46	1,22	1,82	2,07	2,25
330	10	0,41	0,71	0,65	0,48	1,44	2,05	2,29	2,38	1,19	1,79	2,02	2,17
330	15	0,41	0,69	0,63	0,46	1,42	2,03	2,26	2,34	1,17	1,77	1,99	2,13
330	20	0,4	0,68	0,62	0,46	1,42	2,02	2,24	2,31	1,17	1,77	1,97	2,11
330	25	0,4	0,67	0,6	0,45	1,41	2,01	2,21	2,29	1,16	1,76	1,95	2,08
330	35	0,39	0,64	0,57	0,43	1,39	1,99	2,17	2,24	1,14	1,74	1,91	2,02
330	50	0,39	0,61	0,53	0,41	1,37	1,97	2,13	2,18	1,12	1,72	1,87	1,96
330	75	0,39	0,59	0,51	0,39	1,35	1,95	2,06	2,1	1,1	1,7	1,8	1,88
340	5	0,4	0,71	0,69	0,49	1,44	2,04	2,33	2,44	1,18	1,78	2,05	2,23
340	10	0,39	0,68	0,64	0,47	1,41	2,02	2,26	2,36	1,16	1,76	1,99	2,15
340	15	0,39	0,66	0,61	0,45	1,39	2	2,23	2,32	1,15	1,75	1,96	2,11
340	20	0,38	0,65	0,6	0,44	1,39	1,99	2,21	2,29	1,14	1,74	1,94	2,09
340	25	0,38	0,64	0,58	0,43	1,38	1,98	2,19	2,27	1,13	1,73	1,92	2,06
340	35	0,37	0,62	0,55	0,41	1,36	1,96	2,15	2,22	1,11	1,71	1,88	2
340	50	0,37	0,59	0,52	0,39	1,34	1,94	2,1	2,16	1,08	1,69	1,84	1,94
340	75	0,37	0,57	0,49	0,38	1,32	1,92	2,05	2,08	1,06	1,67	1,79	1,86
350	5	0,38	0,69	0,67	0,47	1,41	2,01	2,31	2,43	1,15	1,75	2,02	2,21
350	10	0,37	0,65	0,62	0,45	1,38	1,98	2,24	2,35	1,13	1,73	1,97	2,13
350	15	0,37	0,63	0,59	0,44	1,36	1,96	2,21	2,3	1,11	1,71	1,94	2,09
350	20	0,36	0,62	0,58	0,43	1,36	1,96	2,19	2,28	1,1	1,7	1,92	2,07
350	25	0,36	0,61	0,56	0,42	1,35	1,95	2,17	2,25	1,09	1,69	1,9	2,04
350	35	0,36	0,59	0,53	0,4	1,33	1,93	2,13	2,19	1,07	1,67	1,86	1,98
350	50	0,36	0,57	0,5	0,38	1,31	1,91	2,08	2,14	1,05	1,65	1,81	1,92
350	75	0,35	0,55	0,47	0,36	1,29	1,89	2,03	2,06	1,03	1,63	1,76	1,84
STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggl; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su													



Gambar 19 Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton



Gambar 20 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton



Gambar 21 Analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton

6.2 Perencanaan tulangan

Tujuan utama penulangan untuk :

- Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan
- Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan
- Mengurangi biaya pemeliharaan

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

6.2.1 Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan.

Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada :

- a. Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*),
Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25, atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.
- b. Pelat dengan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
- c. Pelat berlubang (*pits or structures*).

6.2.2 Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan pengertian:

- A_s : luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)
- f_s : kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.
- g : gravitasi (m/detik^2).
- h : tebal pelat beton (m)
- L : jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)
- M : berat per satuan volume pelat (kg/m^3)
- μ : koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah sebagaimana pada Tabel 1.

Luas penampang tulangan berbentuk anyaman empat persegi panjang dan bujur sangkar ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Ukuran dan berat tulangan polos anyaman las

Tulangan Memanjang		Tulangan melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat per Satuan Luas (kg/m ²)
Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)	Memanjang (mm ² /m)	Melintang (mm ² /m)	
Empat persegi panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	251	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,076
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	156	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

6.2.3 Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

6.2.3.1 Penulangan memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot (1,3 - 0,2 \mu)}{f_y - n f_{ct}} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan pengertian :

- P_s : persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)
- f_{ct} : kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm²)
- f_y : tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)
- n : angka ekivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c), dapat dilihat pada Tabel 11 atau dihitung dengan rumus
- μ : koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya
- E_s : modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)
- E_c : modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 11 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekivalen baja dan beton (n)

f'_c (kg/cm ²)	n
175 - 225	10
235 - 285	8
290 - ke atas	6

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b (\epsilon_s \cdot E_c - f_{ct})} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan pengertian :

- L_{cr} : jarak teoritis antara retakan (cm).
- p : perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton.
- u : perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.
- f_b : tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97\sqrt{f_c})/d$. (kg/cm²)
- ϵ_s : koefisien susut beton = $(400 \cdot 10^{-6})$.
- f_{ct} : kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm²)
- n : angka ekuivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c) .
- E_c : modulus Elastisitas beton = $14850\sqrt{f_c}$ (kg/cm²)
- E_s : modulus Elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Untuk menjamin agar didapat retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum, maka :

- Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar
- Perlu menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm.

Jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

6.2.3.2 Penulangan melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung menggunakan persamaan (8).

Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut:

- a. Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12 mm.
- b. Jarak maksimum tulangan dari sumbu-ke-sumbu 75 cm.

6.2.3.3 Penempatan tulangan

Penulangan melintang pada perkerasan beton semen harus ditempatkan pada kedalaman lebih besar dari 65 mm dari permukaan untuk tebal pelat ≤ 20 cm dan maksimum sampai sepertiga tebal pelat untuk tebal pelat > 20 cm. Tulangan arah memanjang dipasang di atas tulangan arah melintang.

7 Perencanaan lapis tambah

Pelapisan tambahan pada perkerasan beton semen dibedakan atas :

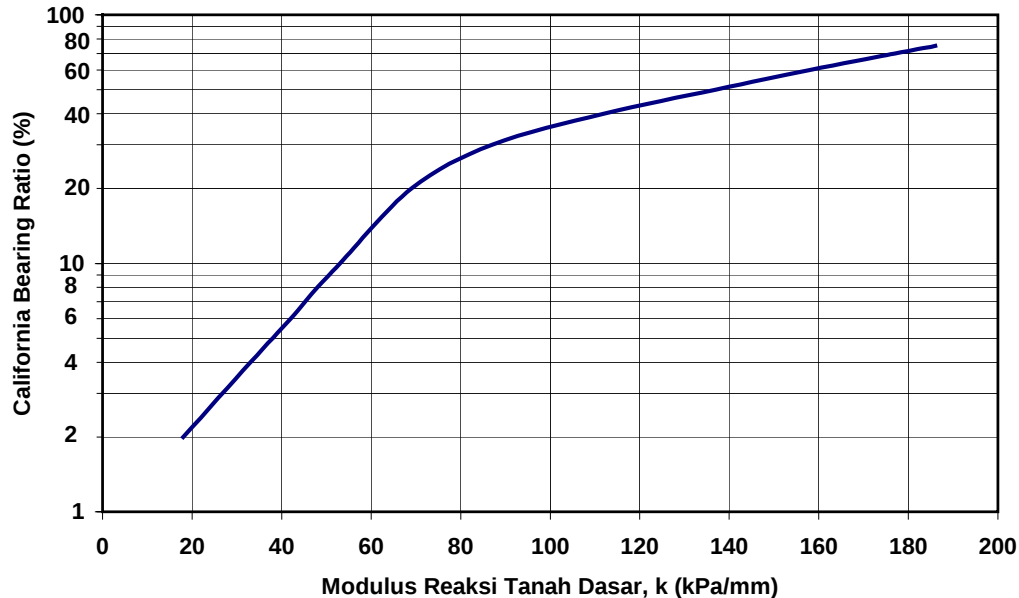
- a. Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan lentur.
- b. Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton semen.
- c. Pelapisan tambahan perkerasan lentur di atas perkerasan beton semen.

7.1 Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton aspal

Tebal lapis tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan lentur dihitung dengan cara yang sama seperti perhitungan tebal pelat beton semen pada perencanaan baru yang telah diuraikan sebelumnya.

Modulus reaksi perkerasan lama (k) diperoleh dengan melakukan pengujian pembebanan pelat (plate bearing test) menurut AASHTO T.222-81 di atas permukaan perkerasan lama yang selanjutnya dikorelasikan terhadap nilai CBR menurut Gambar 22.

Bila nilai k lebih besar dari 140 kPa/mm (14 kg/cm³), maka nilai k dianggap sama dengan 140 kPa/mm (14 kg/cm³) dengan nilai CBR 50%.



Gambar 22 Hubungan antara CBR dan Modulus Reaksi Tanah Dasar

7.2 Pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton semen

Jenis pelapisan tambahan perkerasan beton semen di atas perkerasan beton semen, antara lain :

- Pelapisan tambahan dengan lapis pemisah (*unbonded atau separated overlay*).
- Pelapisan tambahan langsung (*direct overlay*).

7.2.1 Pelapisan tambahan perkerasan beton semen dengan lapis pemisah

Tebal lapis tambahan dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$T_r = \sqrt{(T^2 - C_s \cdot T_0^2)} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan pengertian :

- T_r : tebal lapis tambahan
- T : tebal perlu berdasarkan beban rencana dan daya dukung tanah dasar dan lapis pondasi bawah dari jalan lama sesuai dengan cara yang telah diuraikan.
- T_0 : tebal pelat lama (yang ada)
- C_s : koefisien yang menyatakan kondisi pelat lama yang nilainya sebagai berikut:
 - $C_s = 1$, kondisi struktur perkerasan lama masih baik
 - $C_s = 0,75$, kondisi perkerasan lama, baru mengalami retak awal pada sudut-sudut sambungan
 - $C_s = 0,35$, kondisi perkerasan lama secara struktur telah rusak

Tebal minimum lapis tambahan dengan lapis pemisah sebesar 150 mm.

Lapis pemisah dimaksudkan untuk mencegah refleksi penyebaran retak perkerasan lama ke lapis tambahan, yang biasanya terbuat dari beton aspal dengan ketebalan minimum 3 cm.

Letak dan jenis sambungan serta penulangan pada lapis tambahan tidak perlu sama dengan yang ada pada perkerasan lama.

Penulangan pada lapis tambahan tidak tergantung pada tulangan dan kondisi perkerasan lama.

7.2.2 Pelapisan tambahan langsung

Tebal lapis tambahan dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$T_r = {}^{1,4}\sqrt{(T^{1,4} - C_s \cdot T_0^{1,4})} \dots\dots\dots (12)$$

Dengan pengertian :

T_r : tebal lapis tambahan

T : tebal perlu berdasarkan beban rencana dan daya dukung tanah dasar dan atau lapis pondasi bawah dari jalan lama sesuai prosedur yang telah diuraikan

T_0 : tebal pelat lama (yang ada)

C_s : faktor yang menyatakan keadaan struktural perkerasan lama, yang besarnya antara 0,75 - 1.

Tebal minimum lapis tambahan ini sebesar 130 mm.

Letak sambungan pada lapis tambahan harus sama dengan letak sambungan pada perkerasan lama.

Jenis sambungan dan penulangan pada lapis tambahan tidak harus sama dengan jenis sambungan dan penulangan pada perkerasan lama.

Perkerasan lama yang mengalami retak awal ($C_s = 0,75$) dapat diberi lapisan tambahan langsung bila kerusakannya dapat diperbaiki.

7.3 Pelapisan tambahan perkerasan beton aspal di atas perkerasan beton semen

Struktur perkerasan beton semen harus dievaluasi agar supaya tebal efektifnya dapat dinilai sebagai aspal beton. Untuk menentukan tebal efektif (T_e) setiap lapisan perkerasan yang ada harus dikonversikan kedalam tebal ekivalen aspal beton sesuai dengan Tabel 12. Dengan demikian tebal lapis tambahan yang diperlukan, dihitung berdasarkan perhitungan lapis tambahan pada perkerasan lentur.

Dalam menentukan tebal ekivalen perkerasan beton semen perlu memperhatikan kondisi dan daya dukung lapisan beton semen yang ada.

Apabila lapisan-lapisan perkerasan telah diketahui dan kondisinya ditetapkan, kemudian faktor konversi yang sesuai dipilih dari Tabel 12 dan tebal efektif dari setiap lapisan dapat ditentukan.

Tebal efektif setiap lapisan merupakan hasil perkalian antara tebal lapisan dan faktor konversi. Tebal efektif untuk seluruh perkerasan merupakan jumlah tebal efektif dari masing-masing lapisan.

Tebal lapisan tambahan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_r = T - T_e \dots\dots\dots (13)$$

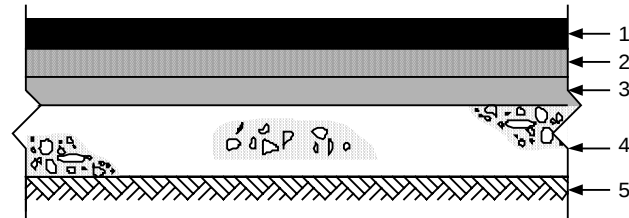
Dengan pengertian :

T_r = tebal lapis tambahan

T = tebal perlu berdasarkan beban rencana dan daya dukung tanah dasar dan atau lapis pondasi bawah dari jalan lama sesuai prosedur yang telah diuraikan

T_e = tebal efektif perkerasan lama

Tebal lapis tambahan perkerasan lentur yang diletakkan langsung di atas perkerasan beton semen dianjurkan minimum 100 mm. Apabila tebal lapisan tambahan lebih dari 180 mm, konstruksi lapis tambahan dapat menggunakan lapisan peredam retak sebagai mana terlihat pada Gambar 24 berikut.



Gambar 23 Lapisan peredam retak pada sistem pelapisan tambahan

Keterangan gambar :

1. Beton aspal sebagai lapisan aus
2. Beton aspal sebagai lapis perata
3. Beton aspal sebagai lapisan peredam retak
4. Perkerasan beton semen lama (yang ada)
5. Tanah dasar

**Tabel 12 Faktor konversi lapis perkerasan lama
untuk perencanaan lapis tambahan menggunakan perkerasan beton aspal**

Klasifikasi Bahan	Deskripsi Bahan	Faktor Konversi (Fk)
I	Tanah dasar asli, tanah dasar perbaikan dengan bahan berbutir, atau stabilisasi kapur	0
II	Lapis pondasi atau pondasi bawah yang terdiri dari bahan berbutir bergradasi baik, keras mengandung bahan halus bersifat plastis, dengan CBR ≥ 20 . Fk = 0,2 untuk PI (Plastisitas Indeks) ≤ 6 , dan 0,1 untuk PI > 6 .	0,1-0,2
III	Lapis pondasi atau pondasi bawah yang distabilisasi semen atau kapur dengan PI ≤ 10	0,2-0,3
IV	a. Lapis permukaan atau lapis pondasi dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair yang telah retak menyeluruh, pelepasan butir, penurunan mutu agregat, pengaluran pada jejak roda, dan penurunan stabilitas. b. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup lapis peraspalan) yang telah patah-patah menjadi potongan-potongan dengan berukuran $\leq 0,6$ m dalam arah dimensi maksimal. Fk = 0,5 apabila digunakan lapis pondasi bawah, dan 0,3 apabila pelat langsung diatas tanah dasar.	0,3-0,5 0,3-0,5
V	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal, yang telah menunjukkan pola retak yang jelas. b. Lapis permukaan dan lapis pondasi, dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair, yang telah menunjukkan retak halus, pelepasan butir atau penurunan mutu agregat, dan alur kecil pada jejak roda tapi masih mantap. c. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup peraspalan) yang telah retak dan tidak rata dan tidak bisa ditutup secara baik. Potongan-potongan pelat berukuran sekitar 1 sampai 4 m ² , dan telah diperbaiki.	0,5-0,7 0,5-0,7 0,5-0,7
VI	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal yang telah menunjukkan retak halus dengan pola setempat-setempat dan alur kecil pada jejak roda tapi masih mantap. b. Lapis permukaan dan lapis pondasi dengan bahan pengikat aspal emulsi atau aspal cair yang masih mantap, secara umum belum retak, tidak menunjukkan kegemukan (bleeding), dan terjadi alur kecil pada jejak roda. c. Perkerasan beton semen (termasuk perkerasan yang telah ditutup lapis peraspalan) yang masih mantap dan telah ditutup (undersealed), telah retak-retak tapi tidak terdapat potongan-potongan pelat yang berukuran lebih kecil dari 1 m ²	0,7-0,9 0,7-0,9 0,7-0,9
VII	a. Lapis permukaan dan lapis pondasi beton aspal, secara umum belum retak, dan terdapat alur kecil pada jejak roda. b. Perkerasan beton semen yang masih mantap, sudah ditutup (undersealed) dan umumnya belum retak c. Lapis pondasi beton semen, dibawah lapis permukaan beraspal, yang masih mantap, tidak terjadi pamping (pumping) dan memberikan retak refleksi yang kecil pada permukaan	0,9-1,0 0,9-1,0 0,9-1,0

Lampiran A (Informatif)

A.1 Contoh Perhitungan Tebal Pelat Beton Semen

A.1.1 Diketahui data parameter perencanaan sebagai berikut :

- CBR tanah dasar = 4 %
- Kuat tarik lentur (f_{ct}) = 4,0 Mpa ($f'_c = 285 \text{ kg/cm}^2$, silinder)
- Bahan pondasi bawah = stabilisasi
- Mutu baja tulangan = BJTU 39 (f_y : tegangan leleh = 3900 kg/cm^2) untuk BMDT dan BJTU 24 (f_y : tegangan leleh = 2400 kg/cm^2) untuk BBDT.
- Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi (μ) = 1,3
- Bahu jalan = Ya (beton).
- Ruji (dowel) = Ya
- Data lalu-lintas harian rata-rata :
 - Mobil penumpang : 1640 buah/hari
 - Bus : 300 buah/hari
 - Truk 2as kecil : 650 buah/hari
 - Truk 2as besar : 780 buah/hari
 - Truk 3 as : 300 buah/hari
 - Truk gandengan : 10 buah/hari
 - Pertumbuhan lalu-lintas (i) : 5 % per tahun
 - Umur rencana (UR) : 20 th.

Direncanakan perkerasan beton semen untuk jalan 2 lajur 1 arah untuk Jalan Arteri.

Perencanaan meliputi :

- Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (BBTT)
- Perkerasan beton bersambung dengan tulangan (BBDT)
- Perkerasan beton menerus dengan tulangan (BMDT)

A.1.2 Langkah-langkah perhitungan tebal pelat

a) Analisis lalu-lintas

Tabel 13 Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya.

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jml. Kend (bh).	Jml. Sumbu Per Kend (bh).	Jml. Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (hb)	JS (bh)
(1)	(2)				(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
MP	1	1	-	-	1640	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus	3	5	-	-	300	2	600	3	300	5	300	-	-
Truk 2as Kcl	2	4	-	-	650	2	1300	2	650	-	-	-	-
								4	650	-	-	-	-
Truk 2as Bsr	5	8	-	-	780	2	1560	5	780	8	780	-	-
Truk 3as Td	6	14	-	-	300	2	600	6	300	-	-	14	300
Truk Gandg.	6	14	5	5	10	4	40	6	10	-	-	14	10
								5	10	-	-	-	-
								5	10	-	-	-	-
Total							4100		2710		1080		310

RD = roda depan, RB = roda belakang, RGD = roda gandeng depan, RGB = roda gandeng belakang, BS = beban sumbu, JS = jumlah sumbu, STRT = sumbu tunggal roda tunggal, STRG = sumbu tunggal roda ganda, STdRG = sumbu tandem roda ganda.

Lampiran A (Informatif) (Lanjutan)

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana (20 tahun).

$$\begin{aligned}\text{JSKN} &= 365 \times \text{JSKNH} \times R \quad (\text{R diambil dari Tabel 4}) \\ &= 365 \times 4100 \times 33,07 \\ &= 4,95 \times 10^7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{JSKN rencana} &= 0,7 \times 4,9 \times 10^7 \\ &= 3,46 \times 10^7\end{aligned}$$

b) Perhitungan repetisi sumbu yang terjadi.

Tabel 14 Perhitungan repetisi sumbu rencana

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu-lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)x(5) x(6)
STRT	6	310	0,11	0,66	$3,46 \times 10^7$	$2,6 \times 10^6$
	5	800	0,30	0,66	$3,46 \times 10^7$	$6,8 \times 10^6$
	4	650	0,24	0,66	$3,46 \times 10^7$	$5,5 \times 10^6$
	3	300	0,11	0,66	$3,46 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$
	2	650	0,24	0,66	$3,46 \times 10^7$	$5,5 \times 10^6$
Total		2710	1,00			
STRG	8	780	0,72	0,26	$3,46 \times 10^7$	$6,9 \times 10^6$
	5	300	0,28	0,26	$3,46 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$
Total		1080	1,00			
STdRG	14	310	1,00	0,08	$3,46 \times 10^7$	$2,6 \times 10^6$
Total		310	1,00			
Komulatif						$34,6 \times 10^6$

c) Perhitungan tebal pelat beton

Sumber data beban	: Hasil survai
Jenis perkerasan	: BBTT dengan Ruji
Jenis bahu	: beton
Umur rencana	: 20 th
JSK	: $3,4 \times 10^7$
Faktor keamanan beban	: 1,1 (Tabel 4)
Kuat tarik lentur beton (f'_{ct}) umur 28 hari	: 4,0 Mpa
Jenis dan tebal lapis pondasi	: stabilisasi semen 15 cm
CBR tanah dasar	: 4%
CBR efektif	: 27% (Gambar 3)
Tebal taksiran pelat beton	: 16,5 mm (Gambar 24 s/d 31)

Lampiran A (Informatif)
(Lanjutan)

Tabel 15 Analisa fatik dan erosi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (kN)	Beban Rencana Per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi ijin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)*100 / (6)	(8)	(9)=(4)*100 / (8)
STRT	6 (60)	33,00	$2,6 \times 10^6$	TE = 1,13 FRT= 0,28 FE = 1,98	TT	0	TT	0
	5 (50)	27,50	$6,8 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	4 (40)	22,00	$5,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	3 (30)	16,50	$2,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	2 (20)	11,00	$5,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
					TT		TT	
STRG	8 (80)	22,00	$6,6 \times 10^6$	TE = 1,68 FRT= 0,42 FE = 2,58	7×10^6	94,0	10×10^6	65,9
	5 (50)	13,75	$2,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
STdRG	14(140)	19,25	$2,6 \times 10^6$	TE = 1,4 FRT= 0,35 FE = 2,58	TT	0	TT	0
Total					94% < 100%		65,9% < 100%	

Keterangan : TE = tegangan ekuivalen; FRT = faktor rasio tegangan; FE = faktor erosi; TT = tidak terbatas

Karena % rusak fatik (telah) lebih kecil (mendekati) 100% maka tebal pelat diambil 16,5 cm

A.1.2 Perhitungan Tulangan

A.1.2.1 Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan

- Tebal pelat = 16,5 cm
- Lebar pelat = 2x3,5 m
- Panjang pelat = 5,0 m.
- Sambungan susut dipasang setiap jarak 5 m.
- Ruji digunakan dengan diameter 28 mm, panjang 45 cm, jarak 30 cm
- Batang pengikat digunakan baja ulir ϕ 16 mm, panjang 70 cm, jarak 75 cm

A.1.2.2 Perkerasan beton bersambung dengan tulangan

- Tebal pelat = 16,5 cm
- Lebar pelat = 2x3,5 m
- Panjang pelat = 15 m
- Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi bawah = 1,3
- Kuat tarik ijin baja = 240 MPa
- Berat isi beton = 2400 kg/m³
- Gravitasi (g) = 9,81 m/dt²

Lampiran A (Informatif) (Lanjutan)

a) Tulangan memanjang

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

$$A_s = \frac{1,3 \times 15 \times 2400 \times 9,81 \times 0,165}{2 \times 240} = 157,82 \text{ mm}^2 / m'$$

$A_s \text{ min} = 0,1\% \times 165 \times 1000 = 165 \text{ mm}^2/m' > A_s \text{ perlu}$
Dipergunakan tulangan diameter 12 mm, jarak 22,5 cm

b) Tulangan melintang

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

$$A_s = \frac{1,3 \times 7 \times 2400 \times 9,81 \times 0,165}{2 \times 240} = 73,65 \text{ mm}^2 / m'$$

$A_s \text{ min} = 0,1\% \times 165 \times 1000 = 165 \text{ mm}^2/m'$
Dipergunakan tulangan diameter 12 mm, jarak 45,0 cm.

A.1.2.3 Perkerasan beton menerus dengan tulangan

- Tebal pelat = 16,5 cm
- Lebar pelat = 2x3,5 m
- Kuat tekan beton (f_c) = 285 kg/cm² (silinder)
- Tegangan leleh baja (f_y) = 3900 kg/cm²
- E_s/E_c = 6
- Koefisien gesek antara beton dan pondasi bawah $\mu = 1,3$
 $f_{ct} = 40 \text{ kg/cm}^2$
 Ambil $f_{ct} = 0,5 f_{ct} = 0,5 \times 40 = 20 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2$
- Sambungan susut dipasang setiap jarak 75 m
- Ruji digunakan ukuran diameter 28 mm, panjang 45 cm dan jarak 30 cm

a) Tulangan memanjang

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot [1,3 - (0,2 \cdot \mu)]}{f_y - n \cdot f_{ct}}$$

$$P_s = \frac{100 \times 20 \times [1,3 - (0,2 \times 1,3)]}{3900 - (6 \times 20)} = 0,55\%$$

$A_s \text{ perlu} = 0,55\% \times 100 \times 16,5 = 9,075 \text{ cm}^2$

Lampiran A (Informatif) (Lanjutan)

$A_{smin} = 0,6 \% \times 100 \times 16,5 = 9,9 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_s \text{ perlu}$
 Dicoba tulangan diameter 16 jarak 180 mm ($A_s = 11,1 \text{ cm}^2/\text{m}'$)
 Untuk tulangan melintang ambil diameter 12 mm jarak 450 mm.

b) Pengecekan jarak teoritis antar retakan

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b (\varepsilon_s \cdot E_c - f_{ct})}$$

$$u = 4/d = 4/1,6 = 2,5$$

$$p = 11,1/(100 \times 16,5) = 0,0067$$

$$\text{Ambil } f_b = (1,97 \sqrt{f_c'})/d = (1,97 \sqrt{285})/1,6 = 20,79 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Ambil } \varepsilon_s = 400 \times 10^{-6}$$

$$E_c = 14850 \sqrt{f_c'} = 14850 \sqrt{285} = 250.697 \text{ kg/cm}^2$$

Dikontrol terhadap jarak teoritis antar retakan (L_{cr})

$$L_{cr} = \frac{20^2}{6 \times 0,0067^2 \times 2,5 \times 20,79 (0,0004 \times 250697 - 20)} = 352,87 \text{ cm} > L_{cr \text{ maks}} (250 \text{ cm})$$

Dicoba ϕ 16 mm jarak 160 mm ($A_s = 13,25 \text{ cm}^2/\text{m}'$)

$$p = 13,25/(100 \times 16,5) = 0,008$$

$$u = 2,5$$

$$f_b = 20,79 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_{cr} = \frac{20^2}{6 \times 0,008^2 \times 2,5 \times 20,79 (0,0004 \times 250697 - 20)} = 249,65 \text{ cm} < L_{cr \text{ maks}} (250 \text{ cm})$$

Jadi tulangan memanjang digunakan diameter 16 mm, jarak 160 mm

A.2 Perhitungan Lapis Tambah Perkerasan Beton Semen di Atas Perkerasan Beton Semen

Diketahui :

Jalan lama dari perkerasan beton semen, mempunyai tebal 15 cm (T_o)

Hasil pemeriksaan plate bearing $k = 14 \text{ kg/cm}^3$

Kuat tarik lentur beton $f_{ct} = 4 \text{ MPa}$. (40 kg/cm^2)

Data lalu-lintas, umur rencana, perkembangan lalu-lintas dan jumlah lajur seperti pada Butir Lampiran A.1.

Diminta :

- a) Menentukan tebal lapis tambah dengan lapis pemisah, bila kondisi perkerasan lama secara struktur telah rusak ($C = 0,35$)
- b) Menentukan tebal lapis tambah langsung, bila kondisi perkerasan lama mengalami retak awal ($C = 0,75$)

Lampiran A (Informatif) (Lanjutan)

Penyelesaian :

A.2.1 Menentukan tebal lapis tambah dengan lapis pemisah

- a) Tebal lapis yang diperlukan (T), dengan cara seperti pada perencanaan perkerasan baru dengan $k = 14 \text{ kg/cm}^3$ atau CBR efektif = 50 %

Taksiran tebal pelat beton 16,0 cm

Tabel 16 Analisa fatik dan erosi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (kN)	Beban Rencana Per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi ijin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)*100 / (6)	(8)	(9)=(4)*100 / (8)
STRT	6 (60)	33,00	$2,6 \times 10^6$	TE = 1,13 FRT= 0,28 FE = 1,98	TT	0	TT	0
	5 (50)	27,50	$6,8 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	4 (40)	22,00	$5,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	3 (30)	16,50	$2,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	2 (20)	11,00	$5,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
					TT		TT	
STRG	8 (80)	22,00	$6,6 \times 10^6$	TE = 1,60 FRT= 0,40 FE = 2,53	TT	0	TT	0
	5 (50)	13,75	$2,5 \times 10^6$		TT	0	TT	0
STdRG	14(140)	19,25	$2,6 \times 10^6$	TE = 1,36 FRT= 3,34 FE = 2,53	TT	0	TT	0
Total					0 % < 100%		0 % < 100%	

Keterangan : TE = tegangan ekuivalen; FRT = faktor rasio tegangan; FE = faktor erosi; TT = tidak terbatas

Setelah dicoba dengan tebal taksiran pelat beton semen 15,5 cm, menunjukkan bahwa jumlah prosentase fatik lebih besar 100%, sehingga diambil tebal pelat 16,0 cm karena dari perhitungan di atas prosentase kerusakan akibat fatik dan erosi lebih kecil dari 100%.

- b) Menentukan tebal lapis tambah yang diperlukan dengan persamaan :

$$T_r = \sqrt{(T^2 - C_s \cdot T_0^2)}$$

Dengan diketahui :

$$T_0 = 15 \text{ cm}$$

$$C_s = 0,35$$

$$\text{Maka } T_r = \sqrt{\{(16)^2 - 0,35 (15)^2\}} = 13,3 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

Diambil tebal lapis tambah $T_r = 15 \text{ cm}$

A.2.2 Menentukan tebal lapis tambah langsung :

Tebal lapis tambah langsung yang diperlukan (T_r)

$$T_r = {}^{1.4}\sqrt{(T^{1.4} - C_s \cdot T_0^{1.4})}$$

Lampiran A (Informatif) (Lanjutan)

Dengan diketahui :

$$\begin{aligned} T &= \text{tebal lapis yang diperlukan} = 16 \text{ cm} \\ T_0 &= 15 \text{ cm} \\ C_s &= 0,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } T_r &= \sqrt[1.4]{\{(16)^{1.4} - 0,35 (15)^{1.4}\}} = 7,0 \text{ cm} < T_r \text{ minimum} = 13 \text{ cm} \\ \text{Diambil tebal lapis tambah } T_r &= 13 \text{ cm} \end{aligned}$$

A.3 Perhitungan Lapis Tambah Perkerasan Beton Aspal di Atas Perkerasan Beton Semen

Diketahui :

Susunan perkerasan beton semen suatu jalan lama sebagai berikut :

Tebal pelat beton semen = 15 cm

Tebal pondasi bawah = 10 cm

CBR tanah dasar = 4 %

Kondisi perkerasan lama telah retak-retak, tidak rata dan potongan-potongan pelat (1-4 m²) telah diperbaiki.

Lapis pondasi bawah dari bahan berbutir bergradasi baik, CBR = 25 %.

Data lalu-lintas harian rata-rata pada tahun pembukaan (2 jalur, 2 arah) sebagai berikut :

Kendaraan ringan (1 + 1) = 1215 buah

Bus (3 + 5) = 365 buah

Truk 2 as (5 + 8) = 61 buah

Truk 3 as (6 + 14) = 37 buah

Truk 5 as (6+14+5+5) = 12 buah

Umur rencana 20 tahun, dengan angka pertumbuhan lalu-lintas = 6 %/tahun

Diminta :

Mentukan tebal lapis tambah perkerasan beton aspal di atas perkerasan tersebut.

Penyelesaian :

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan prosedur buku "Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metoda Analisa" SKBI-2.3.26.1987 dengan lalu-lintas dan umur rencana seperti di atas, didapatkan tebal lapis tambah beton aspal (T_n) = 22 cm.

Tebal efektif perkerasan lama :

$$\text{Tebal efektif pelat beton aspal} = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal efektif pondasi bawah} = 10 \times 0,20 = 2,0 \text{ cm}$$

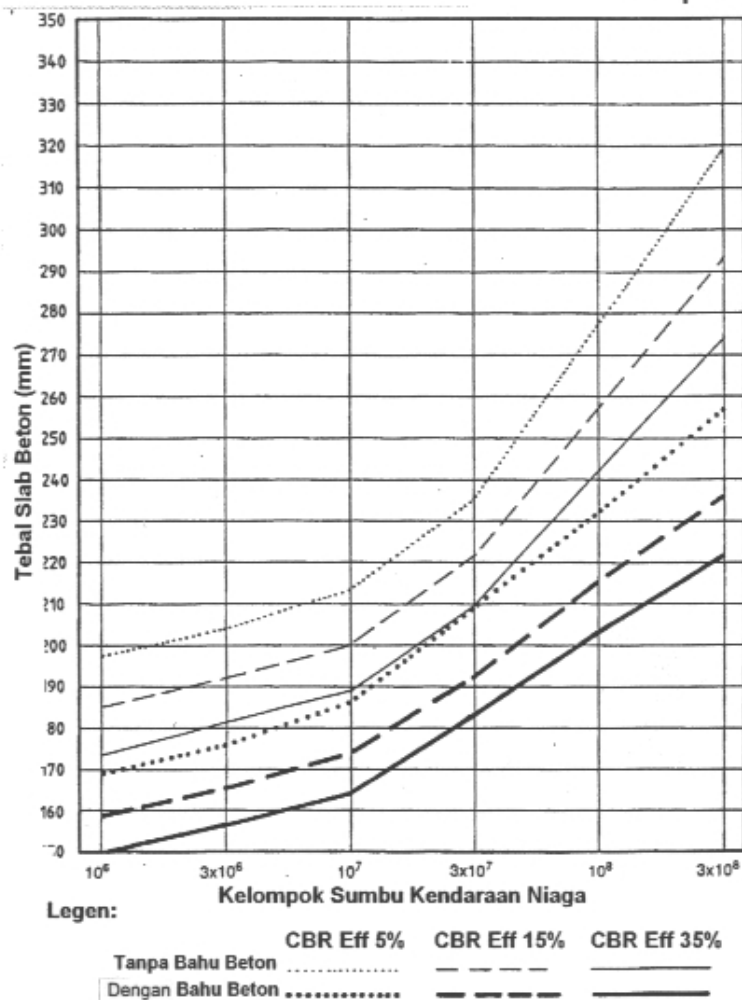
$$\text{Tebal efektif perkerasan lama (Total)} = 12,5 \text{ cm}$$

Tebal perkerasan beton aspal yang diperlukan :

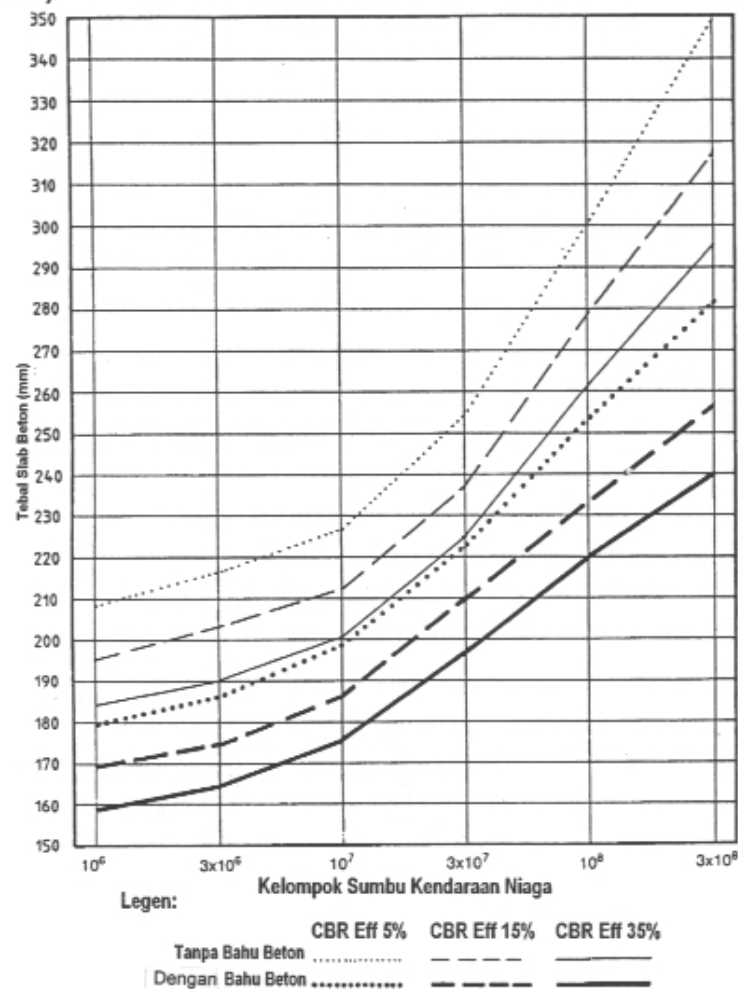
$$\begin{aligned} T_r &= T - T_0 \\ &= 22 - 12,5 \\ &= 9,5 \text{ cm} < T \text{ minimum} = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

Digunakan tebal lapis tambah beton aspal (T_r) = 10 cm

Lampiran B (Informatif)

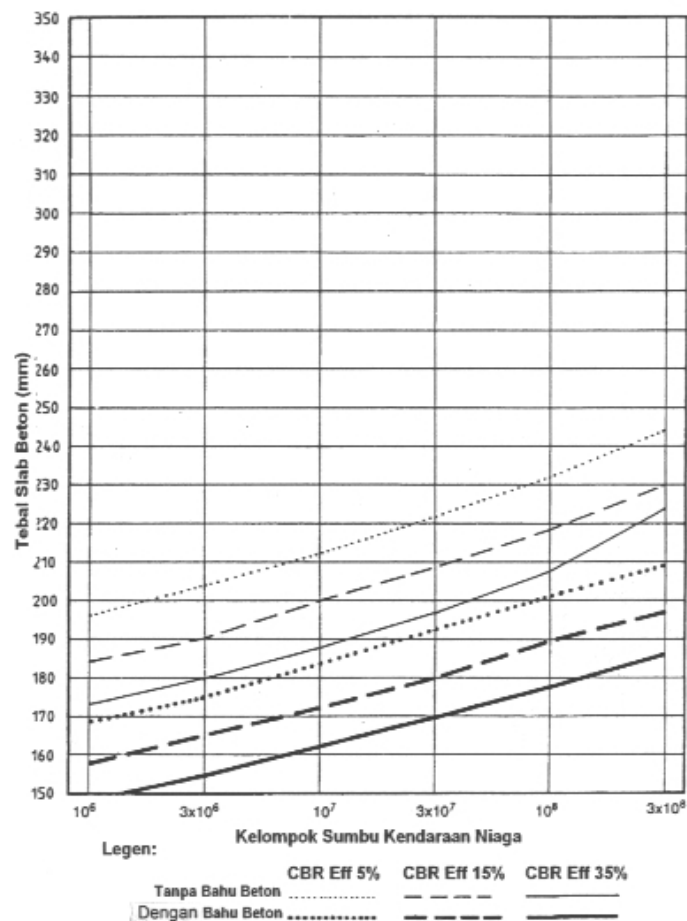


Gambar 24 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4.25$ MPa, Lalu Lintas Dalam Kota, Tanpa Ruji, $FKB = 1.1$

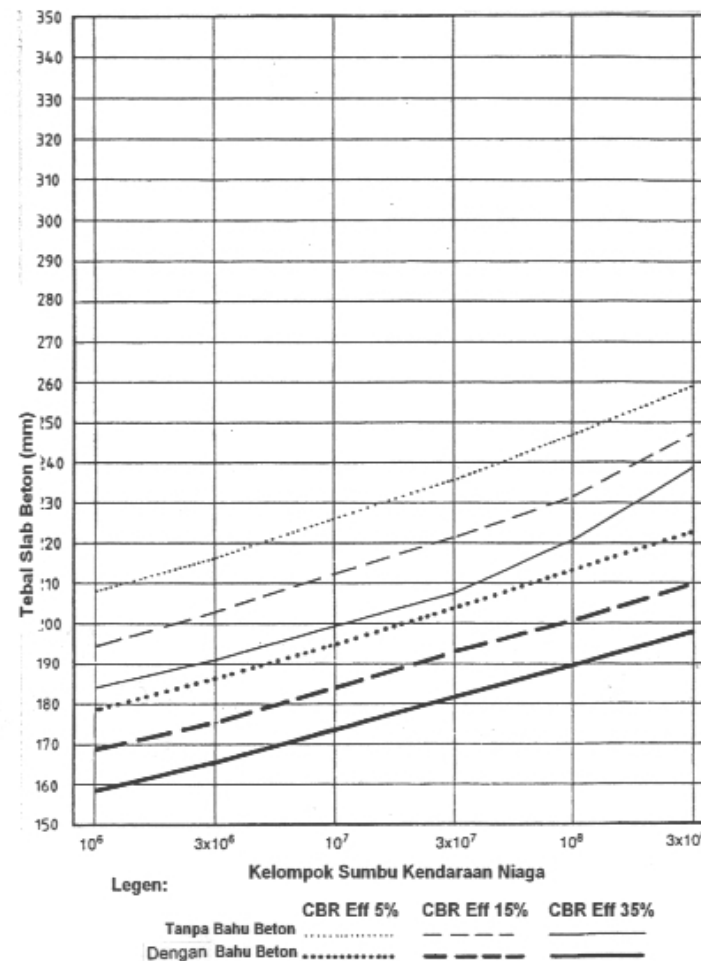


Gambar 25 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4.25$ MPa, Lalu Lintas Dalam Kota, Tanpa Ruji, $FKB = 1.2$

Lampiran B (Lanjutan)

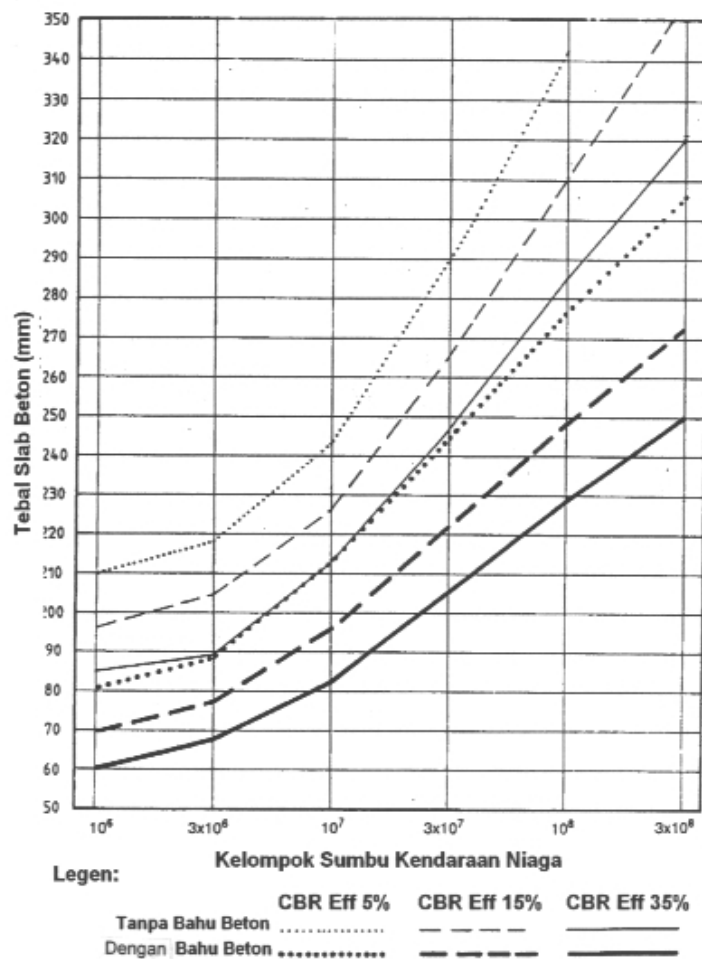


Gambar 26 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, Lalu Lintas Dalam Kota, Dengan Ruji, FKB = 1,1

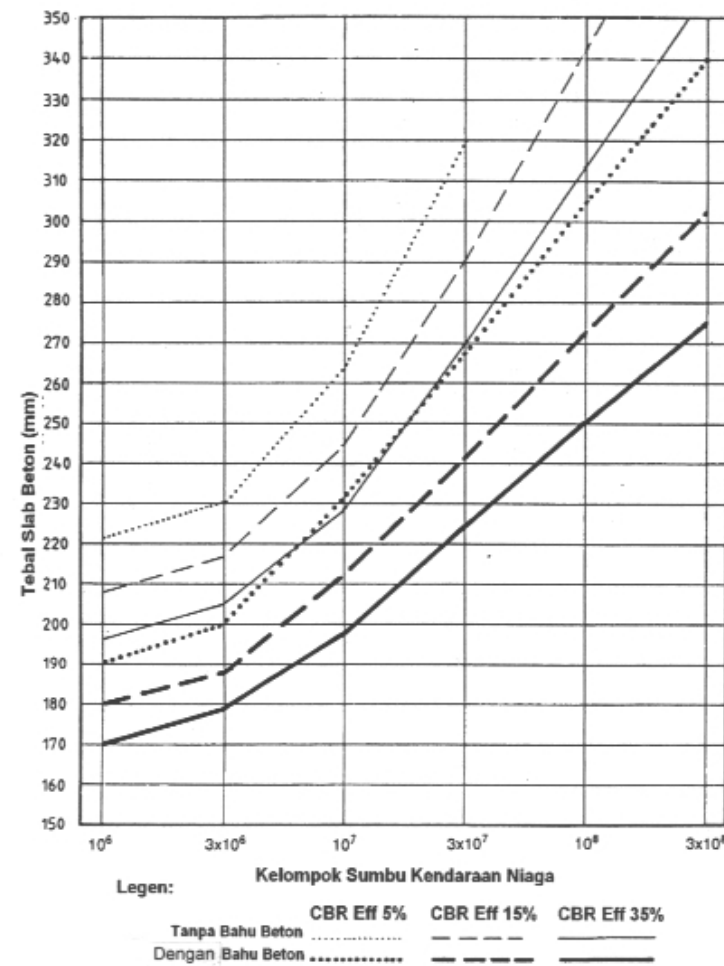


Gambar 27 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, Lalu Lintas Dalam Kota, Dengan Ruji, FKB = 1,2

Lampiran B (Informatif)
(Lanjutan)

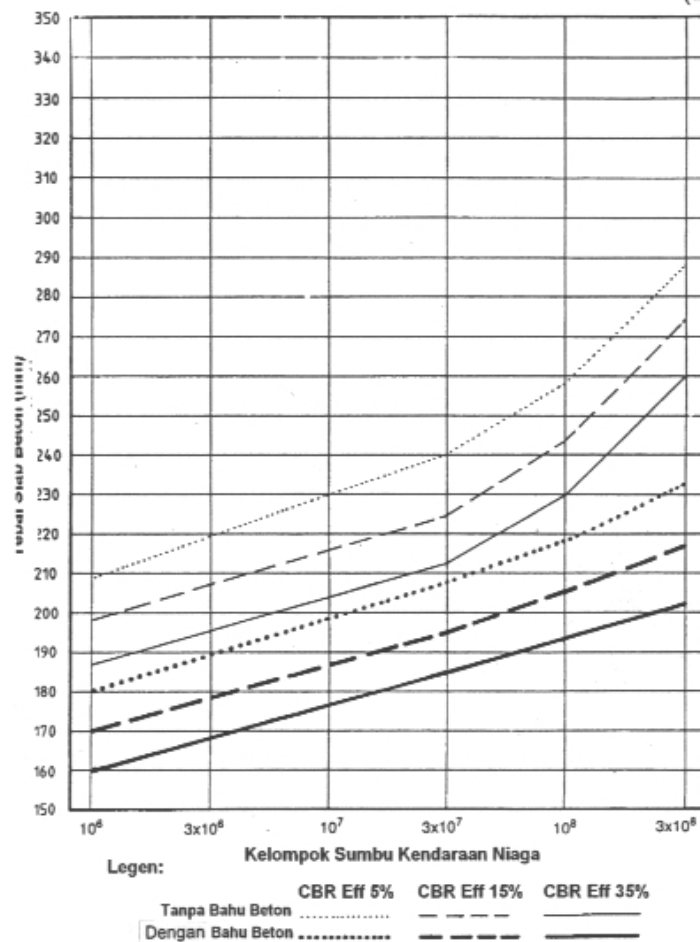


Gambar 28 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, Lalu-Lintas Luar Kota, Tanpa Ruji, FKB = 1,1

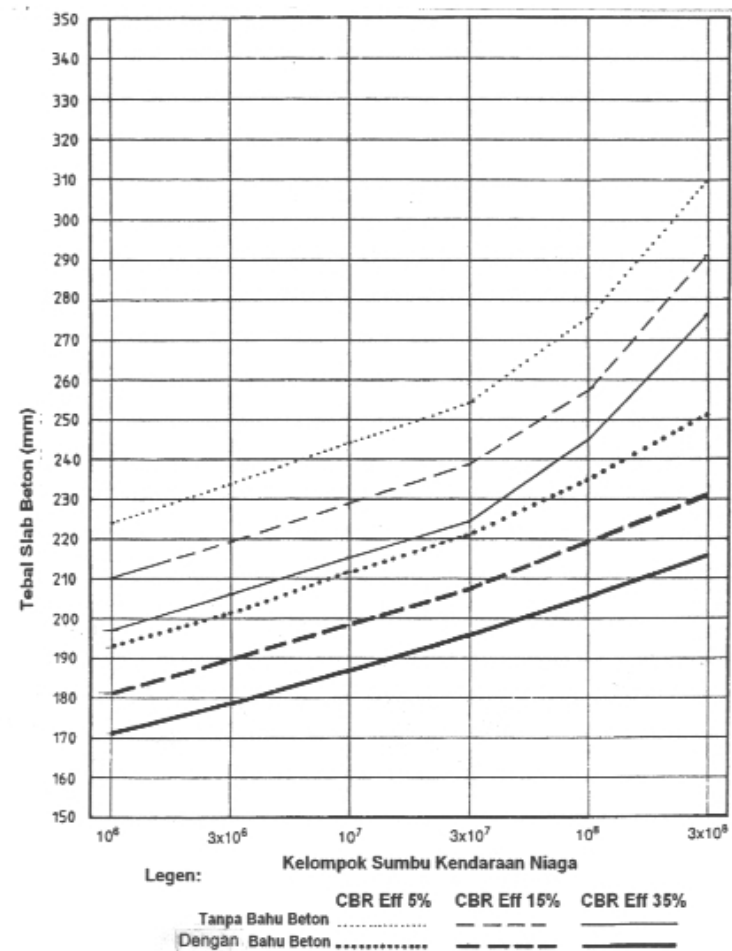


Gambar 29 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa, Lalu-Lintas Luar Kota, Tanpa Ruji, FKB = 1,2

Lampiran B (Informatif)
(Lanjutan)



Gambar 30 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa,
Lalu-Lintas Luar Kota, Dengan Ruji, FKB = 1,1



Gambar 31 Contoh Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ MPa,
Lalu-Lintas Luar Kota, Dengan Ruji, FKB = 1,2