

TUGAS AKHIR

**PENINGKATAN JALAN MENGGUNAKAN
PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA RUAS
JALAN SM.RAJA, KOTA MEDAN
(Studi Kasus)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**TANIA NAZRIA PURBA
1307210241**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Tania Nazria Purba

NPM : 1307210241

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Peningkatan Jalan Menggunakan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) pada Ruas Jalan SM.Raja, Kota Medan
(Studi Kasus)

Bidang ilmu : Transportasi.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Ir. Sri Asfiati, MT

Hj. Irma Dewi, ST, MSi

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

Ir. Zurkiyah, MT

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Tania Nazria Purba

Tempat /Tanggal Lahir: Medan / 29 Agustus 1995

NPM : 1307210241

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Peningkatan Jalan Menggunakan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) pada Ruas Jalan SM. Raja, Kota Medan”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2017

Saya yang menyatakan,

Materai
Rp.6.000,-

Tania Nazria Purba

ABSTRAK

PENINGKATAN JALAN MENGGUNAKAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA RUAS JALAN SM. RAJA, KOTA MEDAN (STUDI KASUS)

Tania Nazria Purba
1307210241
Ir. Sri Asfiati, MT
Irma Dewi, ST, MSi

Ruas Jalan Sisingamangaraja merupakan bagian dari sistem transportasi sebagai pelayanan sarana infrastruktur bagi dampak pertumbuhan jumlah penduduk. Guna memenuhi kebutuhan tersebut perencanaan perkerasan baru diperlukan untuk melayani kebutuhan lalu lintas di masa yang akan datang. Perkerasan kaku adalah suatu susunan konstruksi perkerasan dimana sebagai lapisan atas dipergunakan pelat beton, yang terletak di atas pondasi atau langsung diatas tanah dasar (Bina Marga, 2003). Konsep dari perencanaan perkerasan kaku (beton semen) cara Bina Marga direncanakan terhadap konfigurasi beban sumbu yang mengakibatkan tegangan terbesar pada pelat. Konsep Perencanaan perkerasan Metode AASHTO yaitu tebal pelat rencana akan bertambah sesuai pertambahan lalu lintas ekuivalen selama umur rencana dan sebaliknya tebal pelat akan berkurang dengan pengurangan volume lalu lintas ekuivalen. Demikian pula dalam metode PCA, perhitungan didapat hampir sama dengan metode Bina marga, akan tetapi dalam menentukan LHR kendaraan hanya menghitung beban sumbu truk saja. Perencanaan Tebal Pelat beton perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga, AASHTO dan PCA didapat masing-masing sebesar 30 cm, 32 cm, dan 29 cm terdapat perbedaan sebesar 1-2 cm, Hal ini akibat perbedaan konsep dasar dari masing-masing metode.

Kata kunci: Perkerasan kaku, beban ekuivalen, AASHTO, Bina Marga, PCA.

ABSTRACT

THE INCREASE IN ROAD USE RIGID PAVEMENT ON ROADS SM. RAJA, MEDAN CITY (CASE STUDY)

Tania Nazria Purba
1307210241
Ir. Sri Asfiati, MT
Irma Dewi, ST, MSi

The roads Sisingamangaraja is part of the transportation system as a service infrastructure for the impact of population growth. To meet the needs of new pavement planning is required to serve the traffic needs in the future. Rigid pavement construction is an arrangement wherein a top layer of pavement used concrete slab, which is located on a foundation or directly on the subgrade (Bina Marga, 2003). The concept of planning rigid pavement (concrete cement) ways of Highways planned to axle load configuration resulting in the greatest stress on the plate. Concept Planning Method AASHTO pavement slab thickness plan that will increase with the increase of traffic equivalent over the life of the plan and instead the slab thickness will be reduced by an equivalent reduction in traffic volume. Similarly, in the PCA, calculations obtained similar to the method of Highways, but in determining the vehicle LHR only counts a truck axle. Planning Plates Thick concrete pavement by using the method of Highways, AASHTO and PCA obtained respectively by 30 cm, 32 cm and 29 cm there is a difference of 1-2 cm, This is due to differences in the basic concepts of each method.

Keywords: Rigid pavement, equivalent load, AASHTO, Bina Marga, PCA.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Peningkatan Jalan Menggunakan Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan SM. Raja, Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibu Ir. Sri Asfiati, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Ir. Zurkiyah, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Rahmatullah ST, MSc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Muhammad Husin Gultom ST, MT yang telah ikut membantu dan memberikan arahan serta bimbingan dalam hal buku studi kepada penulis Tugas Akhir ini.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Ir. S. Amaldin Purba dan Ibunda tercinta Elfrida yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan dukungan, baik dengan doa, maupun nasihat serta membiayai studi penulis dengan rasa cinta dan kasih sayang yang tulus.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Rekan-rekan seperjuangan teknik sipil terutama kepada kelompok Siberat serta teman penulis Dinda Winta Sari Dalimunthe, Reja Pahlepi Nasution, Rizki Fauzan, Singgih Dermawan, Zulfandi Kurniawan, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, April 2017

Tania Nazria Purba

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	6
2.2. Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)	7
2.3. Metode Perencanaan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	8
2.3.1 Metode Bina Marga 2003	8
2.3.2 Komponen Konstruksi Perkerasan Kaku	9
2.3.3 Lalu Lintas	13
2.3.4 Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi	14
2.3.5 Umur Rencana	14
2.3.6 Pertumbuhan Lalu Lintas	15
2.3.7 Lalu Lintas Rencana	16
2.3.8 Faktor Keamanan Beban	16
2.3.9 Bahu	16

2.3.10	Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku	17
2.4.	Metode AASHTO 1993	22
2.4.1	Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku	24
2.5.	Metode PCA	30
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1.	Tinjauan Umum	46
3.2.	Lalu Lintas	47
3.2.1	Beban As dan Faktor Kerusakan Kendaraan	47
3.2.2	Nilai <i>Vehicle Damage Factor</i>	48
3.2.3	Volume Lalu Lintas	49
3.2.4	Prediksi Pertumbuhan Lalu Lintas	50
3.3.	Bagan Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	52
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Perencanaan Perkerasan	53
4.1.1	Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2003	53
4.1.2	Perkerasan Kaku Metode <i>AASHTO</i> 1993	63
4.1.3	Perkerasan Kaku Metode <i>PCA</i>	65
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	68
5.2.	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA	70
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana	14
Tabel 2.2	Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)	15
Tabel 2.3	Faktor keamanan beban (Fkb)	17
Tabel 2.4	Nilai R berdasarkan fungsi jalan	24
Tabel 2.5	Nilai ZR berdasarkan nilai R	24
Tabel 2.6	Rekomendasi nilai Cd untuk perkerasan kaku	28
Tabel 2.7	Rekomendasi nilai J untuk perkerasan kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	28
Tabel 2.8a	<i>Equivalent stress- No concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	32
Tabel 2.8b	<i>Equivalent stress- Concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	32
Tabel 2.9a	<i>Erosion factors- Doweled joints, No concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	34
Tabel 2.9b	<i>Erosion factors- aggregate- interlock joints, No concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	34
Tabel 2.10a	<i>Erosion factors- doweled joints, concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	36
Tabel 2.10b	<i>Erosion factors- aggregate- interlock joints, concrete shoulder (Single axle/ Tandem axle)</i>	36
Tabel 2.11	<i>Equivalent stress- tridem (without concrete shoulder/ with concrete shoulder)</i>	37
Tabel 2.12	<i>Erosion factors- tridems- doweled joints (without concrete shoulder/ with concrete shoulder)</i>	38
Tabel 2.13	<i>Erosion factors- tridems- aggregate- interlock joints (without concrete shoulder/ with concrete shoulder)</i>	38
Tabel 2.14	<i>Effect of untreated subbase on k values</i>	41
Tabel 2.15	<i>Design k values for cement- treated subbase</i>	41
Tabel 2.16	<i>Yearly Rates of traffic growth and corresponding projection factors</i>	43
Tabel 3.1	Distribusi beban as kendaraan	48

Tabel 3.2	Nilai <i>VDF</i> berdasarkan Bina Marga	49
Tabel 3.3	Prediksi pertumbuhan lalu lintas	50
Tabel 3.4	Volume lalu lintas (kend/hari) pada tahun 2014	51
Tabel 4.1	Data lalu lintas berdasarkan pertumbuhan lalu lintas	56
Tabel 4.2	Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya	57
Tabel 4.3	Perhitungan repetisi sumbu rencana	58
Tabel 4.4	Tegangan ekuivalen dan faktor erosi untuk perkerasan dengan bahu beton	60
Tabel 4.5	Analisa fatik dan erosi	61
Tabel 4.6	<i>VDF</i> untuk jenis kendaraan J	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipikal struktur perkerasan kaku/ beton semen	7
Gambar 2.2	Struktur perkerasan kaku/ beton semen	8
Gambar 2.3	Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan kaku	11
Gambar 2.4	<i>CBR</i> tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah	11
Gambar 2.5	Pembebanan pelat beton	13
Gambar 2.6	Nomogram 1, analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan dengan atau tanpa bahu beton	19
Gambar 2.7	Nomogram 2, analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton	20
Gambar 2.8	Nomogram 3, analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton	21
Gambar 2.9	Grafik koreksi nilai <i>effective modulus of subgrade reaction</i>	27
Gambar 2.10	Nomogram 4, <i>Fatigue analysis-allowable load repetitions based on stress ratio factor (with and without concrete shoulder)</i>	31
Gambar 2.11	Nomogram 5, <i>Erosion analysis-allowable load repetitions based on erosion factor (without concrete shoulder)</i>	33
Gambar 2.12	Nomogram 6, <i>Erosion analysis-allowable load repetitions based on erosion factor (with concrete shoulder)</i>	35
Gambar 2.13	Grafik <i>flexural strength, age dan design relationships</i>	40
Gambar 2.14	<i>Approximate interrelationships of soil classifications and bearing values</i>	42
Gambar 2.15	<i>Percentage of trucks in right lane of a multilane divided highway</i>	44
Gambar 3.1	Bagan alir (<i>Flowchart</i>) perencanaan perkerasan jalan	52

DAFTAR NOTASI

f_c'	= Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)
f_{cf}	= Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)
K	= Konstanta
R	= Faktor pertumbuhan lalu lintas
i	= Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)
UR _m	= Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai
C	= Koefisien distribusi kendaraan
Δ PSI	= Total kehilangan pelayanan (<i>service</i>)
P _o	= Tingkat pelayanan pada awal umur rencana
P _t	= Tingkat pelayanan pada akhir umur rencana
W ₁₈	= <i>Traffic desain</i> pada lajur lalu lintas, <i>ESAL</i>
Z _R	= Standar normal deviasi
S _D	= Standar deviasi
D	= Tebal pelat beton (<i>inchi</i>)
Sc'	= <i>Modulus of rupture</i> sesuai spesifikasi pekerjaan (psi)
C _d	= Koefisien drainase
J	= Koefisien beban transfer
E _c	= Modulus Elastisitas (psi)
k	= Modulus reaksi tanah dasar (pci)
UR	= Umur rencana
D _D	= Faktor distribusi arah
D _L	= Faktor distribusi lajur
N ₁	= Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka
N _n	= Lalu lintas pada akhir umur rencana
TT	= Tidak Terbatas

DAFTAR SINGKATAN

PCA	= Portland Cement Assosiation
AASHTO	=American Assosiation of State Highway Transportation Officials
CBR	= California Bearing Ratio
CTSB	= Cement Treated Subbase
WIM	= Weigh in Motion
FWD	= Falling Weight Deflectometer
PBC	= Performance Based Contract
SNI	= Standart Nasional Indonesia
ASTM	= American Standart Testing and Material
STRT	= Sumbu Tunggal Roda Tunggal
STRG	= Sumbu tunggal Roda Ganda
STdRG	= Sumbu Tandem Roda Ganda
STrRG	= Sumbu Tridem Roda Ganda
JSKN	= Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga
JSKNH	= Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian
FKB	= Faktor Keamanan Beban
TE	= Tegangan Ekvivalen
FE	= Faktor Erosi
FRT	= Faktor Ratio Tegangan
VDF	= Vehicle Damage Factor
ESAL	= Equivalent Single Axle Load
MR	= Modulus of Rupture
DDT	= Daya Dukung Tanah
LHR	= Lintas Harian Rencana
DCP	= Dynamic Cone Penetrometer
RD	= Roda Depan
RB	= Roda Belakang
RGD	= Roda Gandeng Depan
RGB	= Roda Gandeng Belakang

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (1993) *Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO, Washington DC, USA.
- Afrijal (2010) *Kajian Metoda Perencanaan Pelapisan Ulang Campuran Beraspal (AC) Di Atas Perkerasan Beton*. Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara.
- Basuki, H. (1986) *Perkerasan Beton*, Yogyakarta: Penerbit UGM.
- Croney, D. (1977) *The Design and Performance of Road Pavements*. Transport and Road Research Laboratory, London.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2003) *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)*. BSN.
- Huang, Y. H. (2004) *Pavement Analysis and Design*. Second Edition, New Jersey: Pearson Education.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (2013) *Manual Desain Perkerasan Jalan*.
- PCA, *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. Canadian Edition/ Metric.
- Sulaksono, S. W. (2000) *Rekayasa Jalan*, Bandung: Penerbit ITB.
- Yoder dan Witczak (1975) *Principles of Pavement Design*. Jhon Wiley & Sons, Inc. Toronto.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu prasarana perhubungan darat yang mempunyai peranan penting bagi pertumbuhan perekonomian, sosial budaya, pengembangan wilayah pariwisata, dan pertahanan keamanan untuk menunjang pembangunan nasional sebagaimana tercantum dalam undang-undang No. 13 tahun 1980 dan didalam peraturan pemerintah No. 26 tahun 1985.

Di Indonesia sekarang ini mengalami pertumbuhan penduduk yang pesat, menyebabkan peningkatan kegiatan dan kebutuhan manusia, mengakibatkan pergerakan manusia semakin bertambah, kebutuhan sarana transportasi dan pertumbuhan arus lalu lintas mengalami peningkatan, sehingga menyebabkan kepadatan dan kemacetan jalan. Hal ini dikarenakan prasarana yang tersedia tidak mampu melayani arus lalu lintas. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya sehingga kebutuhan transportasi dapat dipenuhi dengan baik.

Negara Indonesia sebagai negara berkembang menghadapi banyak hambatan dan kendala dalam melaksanakan program-program pembangunan. Hambatan dan kesulitan antara lain disebabkan oleh kondisi prasarana yang kurang memadai terutama di dalam sektor transportasi. Peningkatan taraf hidup sosial ekonomi yang cepat mengakibatkan peningkatan mobilitas yang pada gilirannya meningkatkan pula jumlah kendaraan bermotor. Dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor berarti meningkat pula jumlah repetisi yang menjadi beban perkerasan jalan. Umumnya rusaknya suatu perkerasan jalan bukanlah semata-mata disebabkan oleh beban berat. Dari hasil evaluasi beberapa ahli perencanaan perkerasan jalan dikatakan bahwa kerusakan perkerasan jalan lebih diakibatkan oleh frekuensi repetisi beban yang tinggi.

Transportasi sebagai salah satu sarana penunjang dalam pembangunan suatu negara khususnya daerah medan yang sedang berkembang dan sangat potensial dengan kekayaan sumber daya alam. Dalam hal ini sarana dan prasarana transportasi adalah salah satu faktor yang utama. Untuk itu diperlukan

pembangunan jaringan jalan yang memadai agar mampu memberikan pelayanan yang optimal sesuai dengan kapasitas yang diperlukan.

Selain perencanaan geometrik jalan, perkerasan jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang harus direncanakan secara efektif dan efisien. Konstruksi perkerasan kaku adalah perkerasan yang pada umumnya menggunakan bahan campuran beton semen sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya. Konstruksi lapisan perkerasan ini akan melindungi jalan dari kerusakan akibat air dan beban lalu lintas.

Saat ini jalan beton relatif banyak digunakan di jalan-jalan di kota besar maupun di daerah yang mempunyai tingkat kepadatan lalu lintas tinggi. Beban kendaraan yang relatif besar dan arus lalu lintas yang semakin padat menjadi alasan utama pemilihan jalan beton (*rigid pavement*). Terlebih lagi strukturnya yang lebih kuat, awet, dan bebas perawatan. Jalan beton menjadi solusi yang sangat efektif untuk digunakan di ruas jalan Sisingamangaraja, dikarenakan kepadatan lalu lintas dan beban kendaraan yang relatif besar. Dari hasil inventori jalan yang dilakukan, dapat dilihat kondisi *existing* jalan pada ruas jalan Sisingamangaraja dikategorikan sebagai jalan yang rusak sedang hingga rusak berat. Hal ini terlihat dari banyaknya aspal yang mengelupas sehingga jalan cenderung berlubang. Peningkatan jalan menggunakan perkerasan kaku pada ruas jalan SM. Raja, dilakukan pada dua segmen. Segmen I Arah L. Pakam dan Segmen II Arah Medan. Sehingga panjang total perkerasan yang direncanakan adalah 4.96 KM (2 jalur).

Pemilik proyeknya adalah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional II. Pelaksanaan Jalan Nasional Metropolitan Medan, PPK 17 (Metropolitan Medan Timur Cs). Pada pengerjaan proyek jalan ini, Jalan SM. Raja yang tadinya cuma aspal biasa atau perkerasan lentur diganti dengan menggunakan aspal beton atau perkerasan kaku.

Perhitungan perkerasan jalan secara umum meliputi tebal dan lebar perkerasan. Perhitungan tebal lapisan perkerasan dapat dibedakan menjadi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Tebal

lapisan perkerasan tersebut dapat dihitung dengan berbagai cara (Sukirman, 1999), antara lain:

- Metode Bina Marga, Indonesia.
- Metode *AASHTO*, Amerika Serikat.
- Metode *PCA*, Canada, dan lain-lain.

Oleh karena banyaknya metode yang ada, maka peneliti mencoba untuk membuat suatu perbandingan perhitungan tebal lapisan perkerasan pada ruas jalan Sisingamangaraja dengan menggunakan tiga metode, yaitu Metode Bina Marga (2003), Metode *AASHTO* (1993), dan Metode *PCA* pada peningkatan Jalan SM.Raja.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapakah tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan Metode Bina Marga (2003), Metode *AASHTO* (1993), dan Metode *PCA*, pada peningkatan Jalan SM.Raja?
2. Bagaimanakah hasil perhitungan untuk mendapatkan tebal perkerasan yang efisien dan ekonomis?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya pembahasan ini, maka pada penyusunan tugas akhir ini penulis menetapkan batasan-batasan masalah untuk mencapai tujuan dan manfaat penulisan, penulis membatasi permasalahan hanya pada perhitungan tebal lapisan perencanaan perkerasan kaku dan membandingkan mana perhitungan tebal yang efisien dan ekonomis menggunakan Metode Bina Marga (2003), Metode *AASHTO* (1993), dan Metode *PCA*, pada peningkatan Jalan SM.Raja.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan Metode Bina Marga (2003), Metode AASHTO (1993), dan Metode PCA, pada peningkatan Jalan SM.Raja.
2. Untuk menentukan hasil perhitungan untuk mendapatkan tebal perkerasan yang efisien dan ekonomis.

Dari kegiatan studi yang telah dilakukan, hasilnya diharapkan dapat berguna dan diaplikasikan dalam perencanaan jalan beton, baik sebagai teori maupun dalam aplikasi dilapangan, sebagai solusi untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada jalan aspal yang diakibatkan oleh kepadatan dan beban lalu lintas yang padat terutama di kota-kota besar di Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan bahan referensi dalam analisa perhitungan tebal perkerasan pada proyek sipil umumnya dan proyek jalan khususnya.
2. Untuk mengetahui betapa pentingnya pemilihan metode yang tepat dalam penanganan pekerjaan pekerasan jalan.
3. Bagi peneliti sebagai ilmu pengetahuan, pengalaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh pemilihan metode perkerasan jalan.
4. Bagi rekan mahasiswa dapat dijadikan sebagai referensi tambahan dalam menyusun tugas akhir dan bahan kuliah yang berhubungan dengan manajemen konstruksi dan perencanaan tebal perkerasan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum, maka penulisan tugas akhir ini dibagi dalam 5 (lima) bab. Pembagian ini dimaksudkan untuk mempermudah pembahasan serta penelaahannya, dimana uraian yang dimuat dalam penulisan ini dapat dengan mudah dimengerti. Pembagian yang dimaksud dilakukan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika pembahasan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini terdiri dari tinjauan pustaka atau landasan teori yang digunakan untuk memberikan penjelasan mengenai studi penelitian ini dan dasar perencanaan serta metode perhitungan perkerasan yang akan dibahas.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan langkah-langkah pemecahan masalah yang akan dibahas, meliputi persiapan pengumpulan data, dan teknik pengumpulan data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang penyajian data serta proses tata cara perhitungan tebal perkerasan kaku dari beberapa metode yang telah dipaparkan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis terhadap perencanaan proyek perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tanah saja biasanya tidak cukup untuk kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu adanya suatu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya disebut lapis keras/perkerasan (*pavement*), (Sulaksono, 2000).

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari banyak lapisan yang dibuat untuk menambah daya dukung tanah agar dapat memikul repetisi beban lalu lintas sehingga tanah tadi tidak mengalami deformasi yang berarti (Croney, 1977). Perkerasan atau struktur perkerasan didefinisikan sebagai struktur yang terdiri dari satu atau lebih lapisan perkerasan yang dibuat dari bahan yang memiliki kualitas yang baik (Basuki, 1986). Jadi, Perkerasan dimaksudkan untuk memberikan permukaan yang halus dan aman pada segala kondisi cuaca, serta tebal dari setiap lapisan harus cukup aman untuk memikul beban yang bekerja di atasnya.

Menurut Yoder dan Witczak (1975), Pada umumnya jenis konstruksi perkerasan jalan ada 2 jenis:

- Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
Yaitu pekerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
- Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat.

Dari kedua jenis tipe perkerasan ini maka yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah Perkerasan Kaku yang perkerasannya menggunakan semen sebagai bahan pengikat.

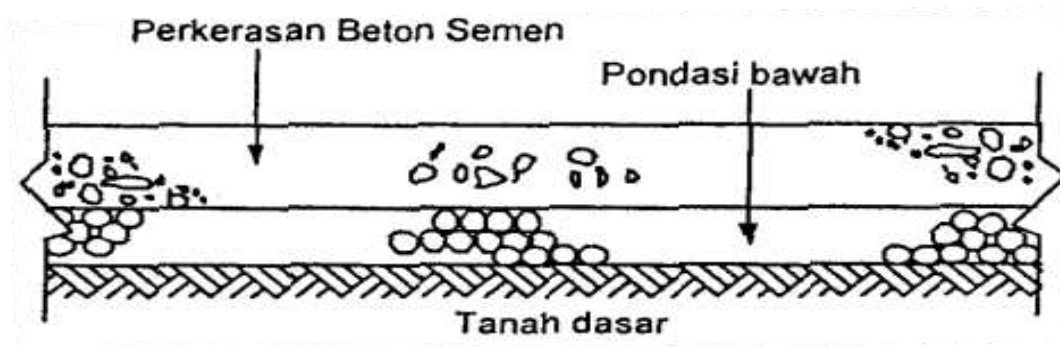
2.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku/ beton didefinisikan sebagai perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton (Huang, 2004).

Perkerasan kaku adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat dimana saat pembebanan berlangsung perkerasan tidak mengalami perubahan bentuk, artinya perkerasan tetap seperti kondisi semula sebelum pembebanan berlangsung (Basuki, 1986). Sehingga dengan sifat ini, maka dapat dilihat apakah lapisan permukaan yang terdiri dari pelat beton tersebut akan pecah atau patah. Perkerasan kaku ini biasanya terdiri 2 lapisan yaitu:

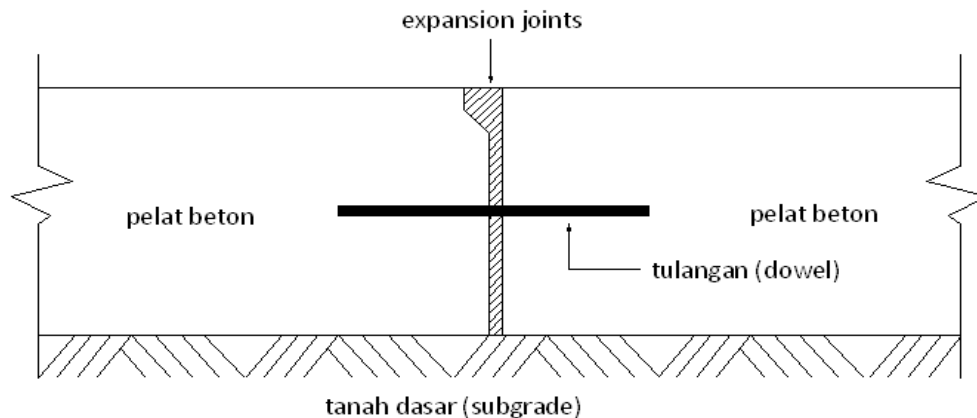
- Lapisan permukaan (*surface course*) yang dibuat dengan pelat beton
- Lapisan pondasi (*base course*)

Susunan tipikal lapisan pada perkerasan kaku umumnya seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Tipikal struktur perkerasan kaku/ beton semen (Pd T-14-2003).

Pada perkerasan kaku ini, lapisan pondasi bisa ada atau tidak ada pada suatu struktur perkerasan, sebab bila kondisi tanah dasar atau tanah asli baik maka pelat beton ini dapat langsung diletakkan diatas tanah dasar atau tanah asli. Lapisan beton dibuat untuk memikul beban yang bekerja diatasnya, dan meneruskannya ke lapisan pondasi. Lapisan pondasi diharapkan mampu mendukung lapisan permukaan dan meneruskannya ke tanah dasar (Gambar 2.2).



Gambar 2.2: Struktur perkerasan kaku/ beton semen (Afrijal, 2010).

2.3 Metode Perencanaan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Dalam hal ini perencanaan akan mengacu pada 3 metode perencanaan perkerasan, yaitu diantaranya:

2.3.1 Metode Bina Marga (2003)

Perencanaan dengan metode Bina Marga (2003) ini merupakan perkerasan yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak diatas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Perkerasan beton semen juga mampu menahan beban yang jauh lebih besar dari perkerasan lentur. Perkerasan beton semen dibedakan menjadi 4 bagian:

1. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan.
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan.
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan.
4. Perkerasan beton pra tegang.

Perkerasan beton semen juga harus memenuhi fungsi yang mendukung perencanaan pada hal ini, fungsi tersebut ialah:

1. Mereduksi tegangan yang terjadi pada tanah dasar (akibat beban lalu lintas) sampai batas-batas yang masih mampu dipikul tanah dasar tersebut.
2. Mampu mengatasi pengaruh kembang susut dan penurunan kekuatan tanah dasar, serta pengaruh cuaca dan lingkungan.

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:

1. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
2. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
3. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
4. 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. Permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5 cm.

2.3.1.1 Komponen Konstruksi Perkerasan Kaku

Pada konstruksi perkerasan beton semen, sebagai konstruksi utama adalah berupa satu lapis beton semen mutu tinggi. Sedangkan lapis pondasi bawah (*subbase* berupa *cement treated subbase* maupun *granular subbase*) berfungsi sebagai konstruksi pendukung atau pelengkap.

Adapun komponen konstruksi perkerasan beton semen (*rigid pavement*) adalah sebagai berikut:

1. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan. Tanah dasar ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang telah disalurkan/disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyiapan tanah dasar (*subgrade*) adalah lebar, kerataan, kemiringan melintang keseragaman daya dukung dan keseragaman kepadatan. Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian *CBR* insitu sesuai dengan Pd T-14-2003 atau *CBR* laboratorium sesuai dengan Pd T-14-2003, 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

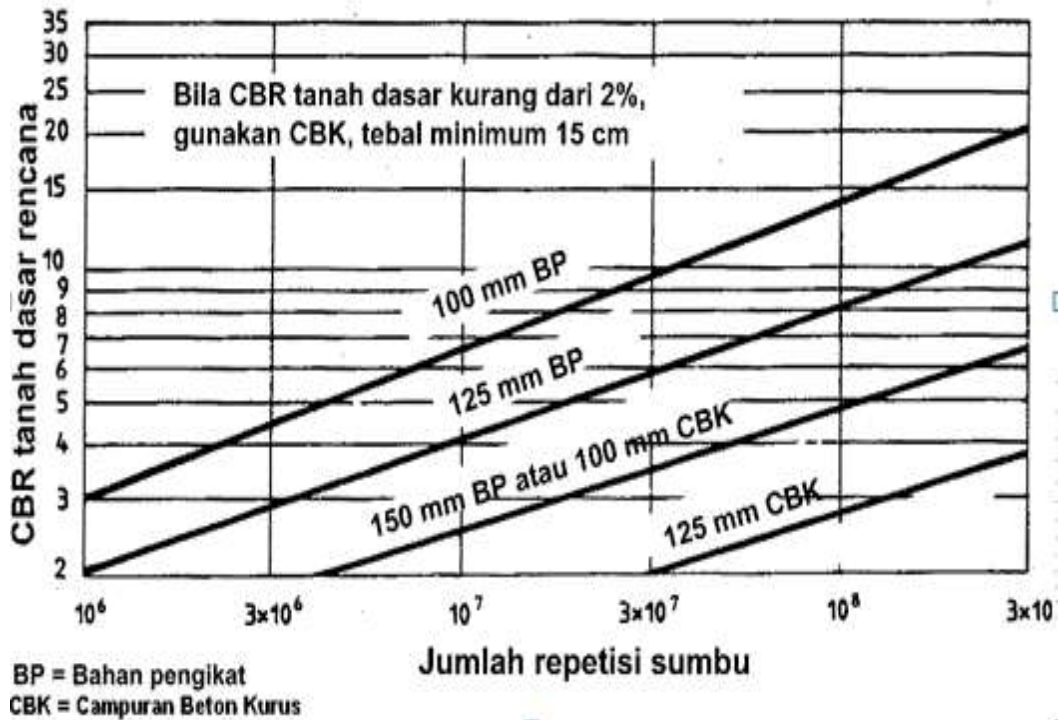
yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai *CBR* tanah dasar efektif 5 %. Pada konstruksi perkerasan kaku fungsi tanah dasar tidak terlalu menentukan, dalam arti kata bahwa perubahan besarnya daya dukung tanah dasar tidak berpengaruh terlalu besar pada nilai konstruksi (tebal) perkerasan kaku.

2. Lapis Pondasi (*Subbase*)

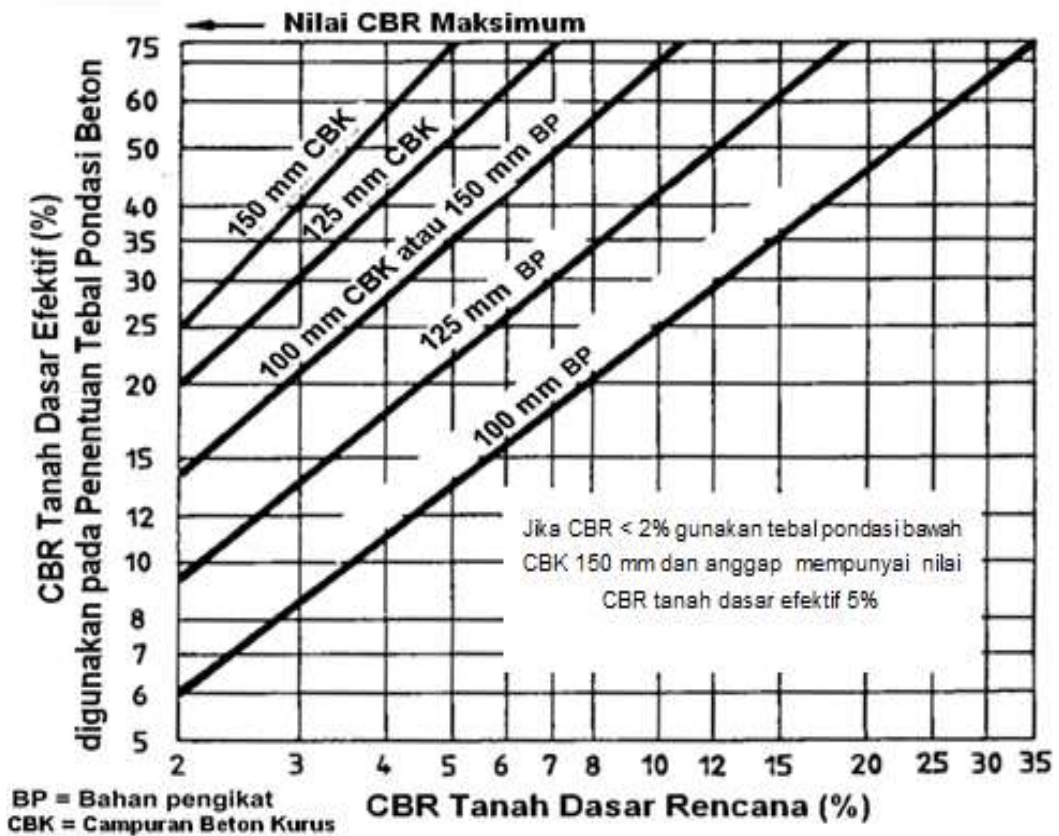
Lapis pondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton semen mutu tinggi. Sebagai bahan *subbase* dapat digunakan *unbound granular* (sirtu) atau *bound granular* (*CTSB, cement treated subbase*). Pada umumnya fungsi lapisan ini tidak terlalu struktural, maksudnya keberadaan dari lapisan ini tidak untuk menyumbangkan nilai struktur perkerasan beton semen. Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata dan *uniform*. Apabila *subbase* tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata. Bahan pondasi bawah dapat berupa:

- a. Bahan berbutir.
- b. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*).
- c. 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 Pd T-14-2003 dan AASHTO M-155. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus. Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dan *CBR* tanah dasar efektif dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3: Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen (Pd T-14-2003).



Gambar 2.4: CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah (Pd T-14-2003).

2.1. 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 persamaan berikut:

$$f_{cf} = K (f_c')^{0.50} \text{ dalam Mpa} \quad (2.1)$$

$$f_{cf} = 3.13 K (f_c')^{0.50} \text{ dalam kg/cm}^2 \quad (2.2)$$

Dimana:

f_c' : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm²)

f_{cf} : kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm²)

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

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (*Steel-fibre*) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Secara tipikal serat dengan panjang baja antara 15 mm dan 50 mm dapat ditambahkan dalam adukan beton, masing-masing sebanyak 75 dan 45 kg/m³.

3. Tulangan

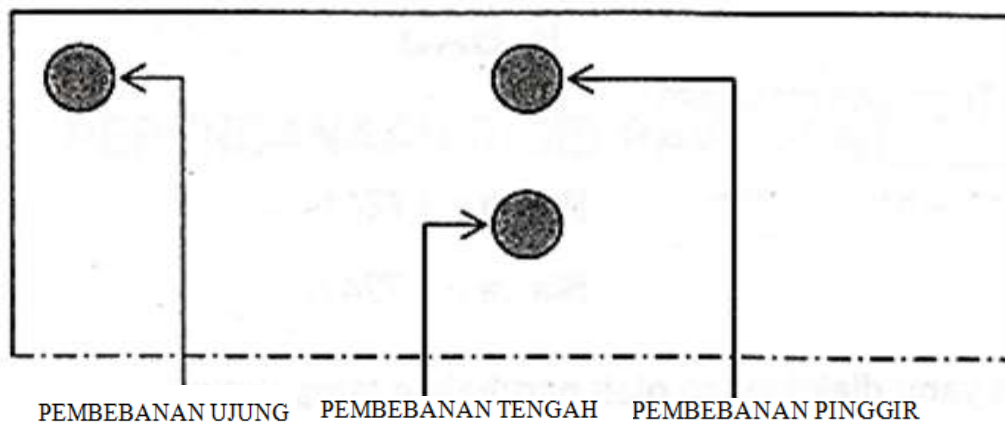
Pada perkerasan beton semen terdapat dua jenis tulangan, yaitu tulangan pada pelat beton untuk memperkuat pelat beton tersebut dan tulangan sambungan untuk menyambung kembali bagian-bagian pelat beton yang telah terputus (diputus). Kedua tulangan tersebut memiliki bentuk, lokasi serta fungsi yang berbeda satu sama lain.

Tegangan-tegangan yang terjadi pada pelat perkerasan beton adalah:

1. Tegangan akibat pembebanan oleh roda (lalu lintas) (Gambar 2.5).

- Pembebanan ujung
- Pembebanan pinggir
- Pembebanan tengah

2. Tegangan akibat perubahan temperatur dan kadar air. Tegangan ini mengakibatkan:
 - Pengembangan
 - Penyusutan
 - Lipatan atau lentingan (*wrap*)
3. Tegangan akibat timbulnya gejala *pumping*
 Gejala *pumping* ini dapat diatasi dengan menggunakan lapisan pondasi bawah pada perkerasan beton.



Gambar 2.5: Pembebanan pelat beton (Sulaksono, 2000).

2.3.1.2 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).

2.3.1.3 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 2.1.

2.3.1.4 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.

Tabel 2. 1: Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana (Pd T-14-2003).

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

2.3.1.5 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 Pers. 2.3.

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \quad (2.3)$$

Dimana:

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)

UR : Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas yaitu (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Faktor pertumbuhan lalu lintas (R), (Pd T-14-2003).

Umur rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,	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 seperti Pers. 2.4.

$$R = \frac{(1+i)^{UR}}{i} + (UR - UR_m) \left\{ (1+i)^{UR_m} - 1 \right\} \quad (2.4)$$

Dimana:

URm : Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai.

2.3.1.6 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 survei beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dapat dihitung dengan cara seperti Pers. 2.5.

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \quad (2.5)$$

Dimana:

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

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

R : Faktor pertumbuhan kumulatif dari rumus pertumbuhan lalu lintas atau tabel faktor pertumbuhan lalu lintas, yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

C : Koefisien distribusi kendaraan.

2.3.1.7 Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.3.

2.3.1.8 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 lalulintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

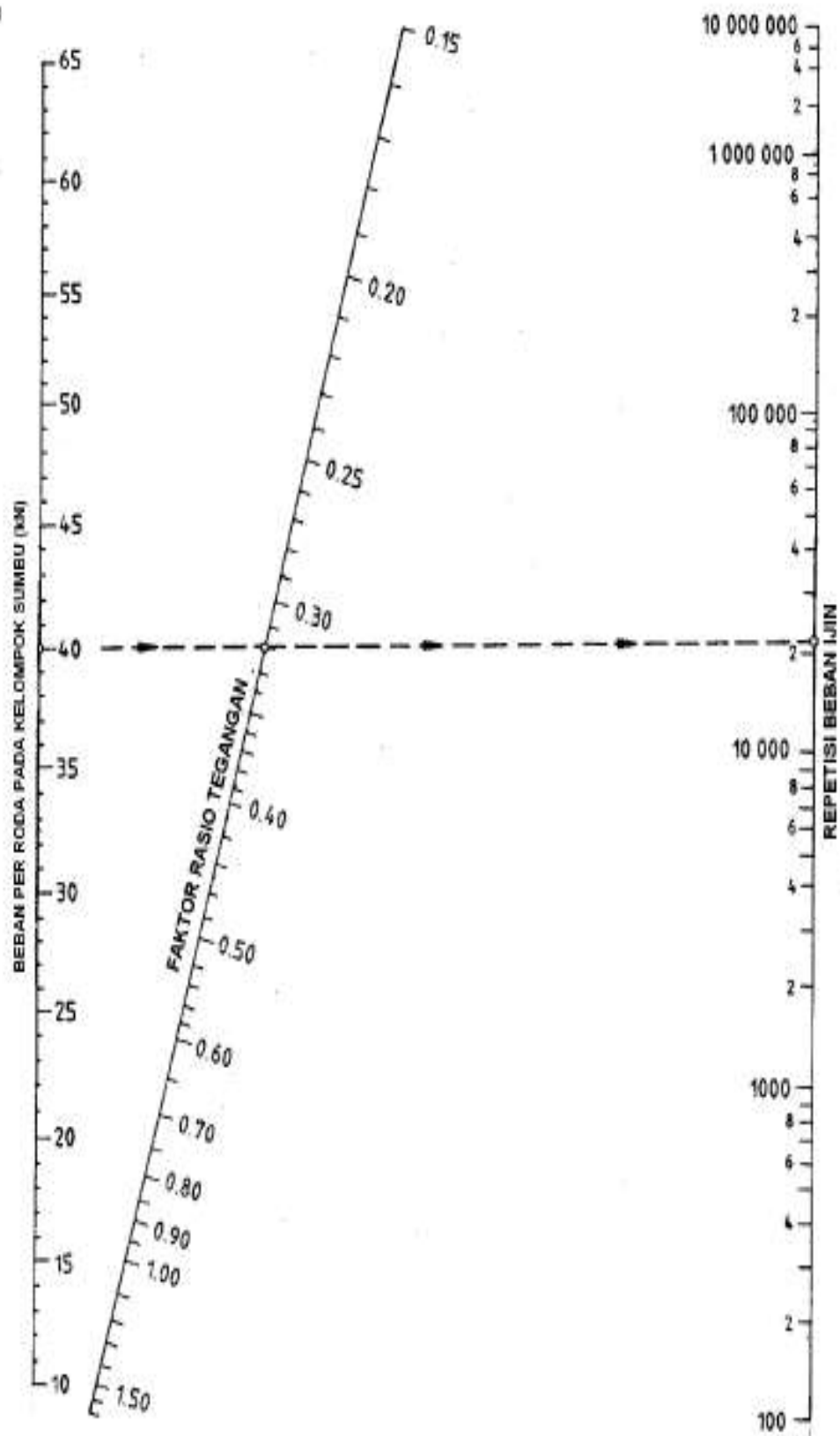
Tabel 2.3: Faktor keamanan beban (FKB) (Pd T-14-2003).

No.	Penggunaan	Nilai FKB
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

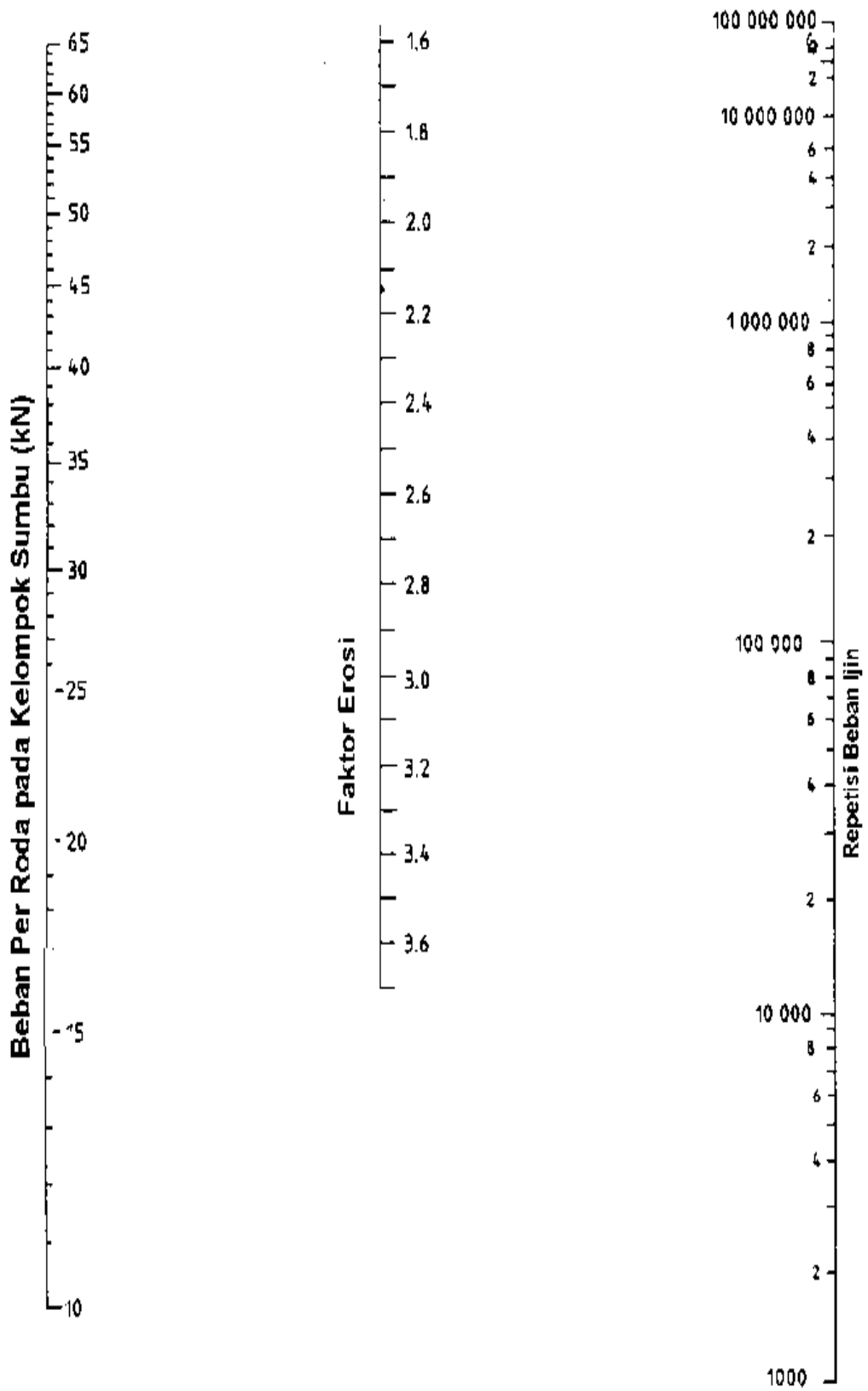
2.3.1.9 Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

- a. Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.
- b. Tentukan menggunakan bahu beton atau tidak.
- c. Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai *CBR* rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.
- d. Tentukan *CBR* efektif berdasarkan nilai *CBR* rencana dan pondasi bawah yang dipilih.
- e. Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari.
- f. Pilih faktor keamanan beban (FKB).

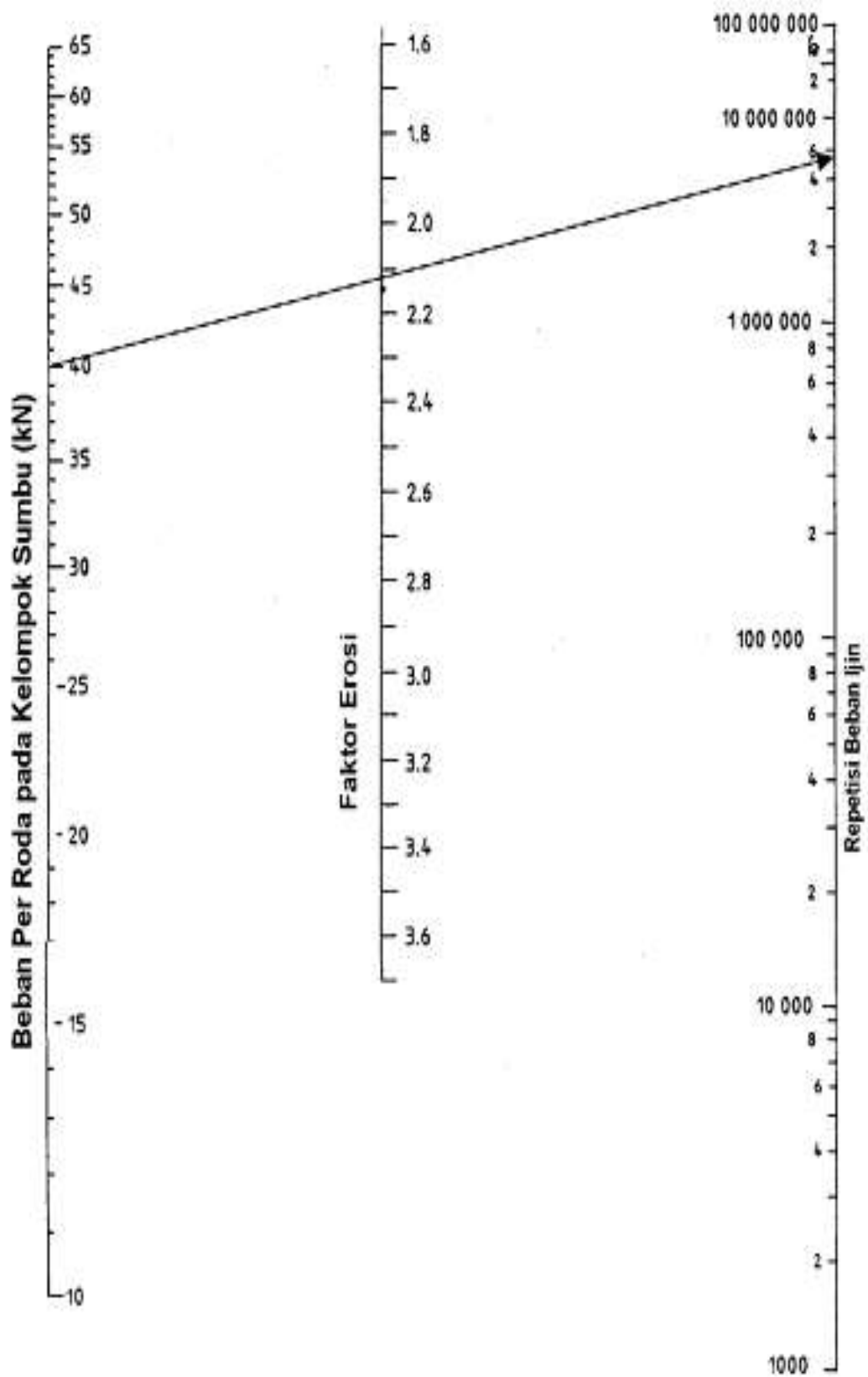
- g. Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia).
- h. Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT.
- i. Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik-lentur.
- j. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan beban (FKB) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda ≥ 65 KN (6,5 ton), anggap dan gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi.
- k. Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik 2.4, yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
- l. Hitung presentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- m. Dengan menggunakan faktor erosi (FE), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi.
- n. Hitung presentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- o. Ulangi langkah k sampai dengan n untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca.
- p. Hitung jumlah tolak fatik dengan menjumlahkan presentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut. Dengan cara yang sama hitung jumlah total erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
- q. Ulangi langkah h sampai dengan langkah p untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
- r. Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
- s. Ulangi langkah g sampai dengan langkah r hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.



Gambar 2.6: Nomogram 1, analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan dengan atau tanpa bahu beton (Pd T 14-2003).



Gambar 2.7: Nomogram 2, analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton (Pd T 14-2003).



Gambar 2.8: Nomogram 3, analisis erosi dan jumlah repetisi beban berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton (Pd T 14-2003).

2.3.2 Metode AASHTO (1993)

Metode AASHTO (1993) adalah salah satu metode yang dikembangkan oleh *American Association of State Highway Officials* (AASHTO), sebagai pengembangan dari AASHTO (1972) dan AASHTO (1986) untuk merencanakan tebal perkerasan kaku jalan raya. Dengan mempertimbangkan faktor pengerusakan suatu beban as (*vehicle damaging factor*) akan berbeda pada tebal perkerasan kaku tersebut dengan D yang berbeda. Sehingga dengan demikian diperlukan untuk melakukan iterasi tebal perkerasan kaku. Metode perkerasan kaku AASHTO (1993) didasarkan pada algoritma kinerja perkerasan AASHTO *Road Test*. Sebagaimana disebut dalam desain perkerasan lentur, diasumsikan bahwa perkerasan ini akan menampung lalu-lintas 18-kips sebesar minimum 50.000 selama periode pelayanan.

Untuk menentukan efektif modulus reaksi tanah dasar, maka harus dilakukan uji selama satu tahun (uji bulanan), dengan beberapa koreksi yang sangat detail. Data-data untuk merencanakan tebal perkerasan antara lain:

- Rata-rata *modulus rupture* beton yang digunakan
- Koefisien transfer beban
- Koefisien drainase
- Kehilangan desain pelayanan Δ PSI
- Keandalan (*Reability, R*)
- Simpangan baku keseluruhan (*Overall Standard Deviation*)
- Total *ESAL* 18-kip

Dari data-data diatas maka akan di dapat hasil tebal perkerasan kaku. Dalam perhitungan *ESAL* 18-kip metode perkerasan kaku AASHTO (1993) telah mengakomodasikan sumbu tridem (3 sumbu).

Kalau ditinjau dari metode AASHTO, Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton itu sendiri. Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam merencanakan perkerasan jalan beton (*portlant cement*) adalah kekuatan beton itu sendiri (AASHTO, 1993). Kekuatan

beton harus di uji terlebih dahulu di laboratorium dengan menggunakan benda uji silinder (15 x 30) cm. Kuat tekan beton f_c' ditetapkan sesuai dengan spesifikasi pekerjaan. Di Indonesia saat ini umumnya digunakan $f_c' = 350 \text{ kg/cm}^2$ untuk pelat beton sedangkan untuk beton pondasi bawah (*wet lean concrete*) juga demikian dengan menggunakan silinder $f_c' = 105 \text{ kg/cm}^2$. Dan *modulus rupture/ flexural strength* (S_c) = 45 kg/cm² atau 640 psi. F_c' digunakan untuk penentuan parameter modulus elastisitas beton (E_c').

Di Indonesia, perencanaan perkerasan jalan beton umumnya menggunakan metode AASHTO dan Bina Marga. Metode AASHTO dalam perencanaan perkerasan kaku menggunakan parameter - parameter sebagai berikut:

- Analisa lalu lintas: mencakup umur rencana, lalu lintas harian rata-rata, pertumbuhan lalu lintas tahunan, *vehicle damage factor*, *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*
- *Terminal serviceability*
- *Initial serviceability*
- *Serviceability loss*
- *Realiability*
- Standar deviasi normal
- *CBR* dan Modulus reaksi tanah dasar
- Modulus elastisitas beton, fungsi dari kuat tekan beton
- *Flexural strength/ Modulus rupture*
- *Drainage coefficient*
- *Load transfer coefficient*

Dengan demikian, dapatlah ditentukan tebal pelat beton dengan rumus dibawah ini:

$$\log_{10} w_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right)}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_i) \times \log_{10} \frac{S_c' C_d x [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 x J x \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c'}{k} \right)^{0,25}} \right]} \quad (2.6)$$

2.3.2.1 Prosedur Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Langkah-langkah dalam perencanaan perkerasan kaku dengan metode AASHTO (1993) adalah sebagai berikut:

A. Nilai Reabilitas (R)

Penetapan nilai Reliabilitas menurut AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Diambil 90 % (AASHTO, 1993). *Standard normal deviate* (Z_R) adalah - 1.282. Standard deviation untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*): SD = 0.30-0.40, diambil 0.35 (AASHTO, 1993). Nilai R dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.4: Nilai R berdasarkan fungsi jalan (AASHTO, 1993).

Klasifikasi fungsional	Tingkat rekomendasi keandalan	
	Perkotaan	Antar kota
Bebas hambatan	85-99.9	80-99.9
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95
Lokal	50-80	50-80

Tabel 2.5: Nilai Z_R berdasarkan nilai R (AASHTO, 1993).

Reliability, R (%)	Standar normal deviate, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

Reliability, R (%)	Standar normal deviate, Z_R
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.237
99.9	-3.090
99.99	-3.750

B. Kinerja Jalan (*Serviceability*)

Untuk perkerasan kaku, AASHTO (1993) merekomendasikan nilai P_o sebesar 4,5. Sedangkan untuk nilai P_t direkomendasikan sebesar 2,5 atau lebih untuk jalan mayor, dan sebesar 2,0 untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah.

$P_t = 2.5$ (*index* jalur utama) dan $P_o = 4.5$ (AASHTO, 1993).

$$\Delta \text{PSI} = P_o - P_t \quad (2.7)$$

Dimana:

- ΔPSI = Total kehilangan pelayanan (*service*)
- P_o = Tingkat pelayanan pada awal umur rencana
- P_t = Tingkat pelayanan pada akhir umur rencana

C. CBR Tanah

Dari nilai *CBR representatif* rencana, kemudian diprediksi modulus elastisitas tanah dasar dengan mengambil Pers. 2.8.

$$k = \frac{1500 \cdot \text{CBR (psi)}}{19.4} \quad (2.8)$$

Dimana:

- CBR = Nilai CBR representatif (%).
- k = Modulus reaksi tanah dasar (psi).

D. Modulus Elastisitas Beton

Modulus reaksi tanah dasar (k) digunakan untuk mengestimasi dukungan pelat beton semen oleh lapisan dibawahnya. Umumnya, k efektif (k_{eff}) dihitung yang mencerminkan kontribusi tanah dasar, lapis pondasi dan pondasi bawah dan juga hilangnya dukungan yang muncul akibat erosi dan *stripping* lapis bawah dan tanah dasar. Untuk menentukan nilai modulus reaksi tanah dasar efektif tergantung dari kondisi struktur perkerasan, yakni penggunaan lapisan pondasi bawah (*subbase*) dan kondisi kedalaman pondasi kaku (Gambar 2.9).

Modulus elastisitas beton dapat ditentukan berdasarkan kuat tekan beton yang terdapat dalam Pers. 2.9.

$$E_c = 57.000 \sqrt{f_c'} \quad (2.9)$$

Dimana:

- E_c = Modulus elastisitas beton (psi)
- F_c' = Kuat tekan beton, silinder (psi)

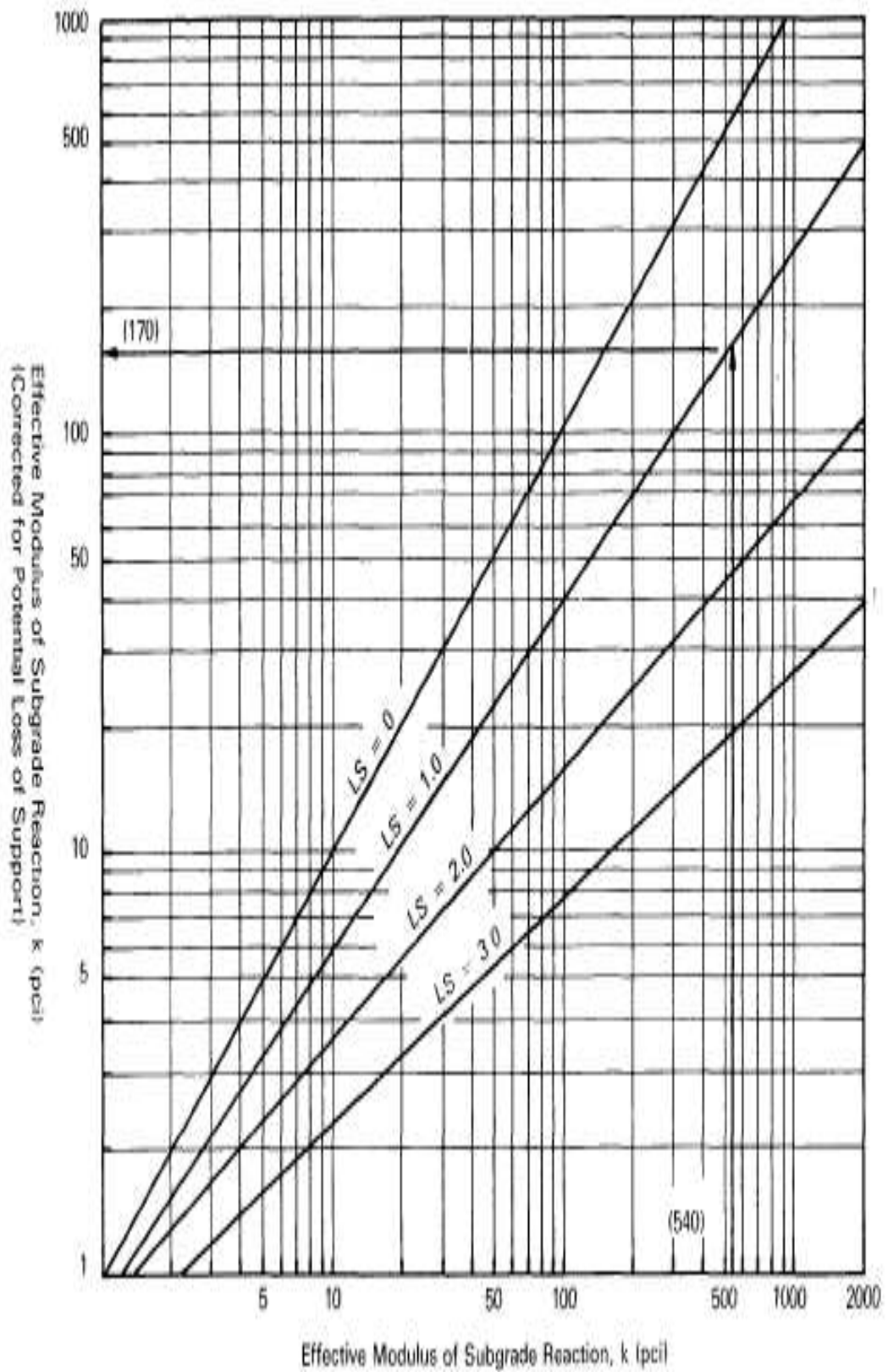
Kuat tekan beton f_c' ditetapkan sesuai pada spesifikasi pekerjaan. Jika data kekuatan tekan beton tidak ada (atau tidak dapat diasumsikan), maka asumsikan $E_c = 27.500$ MPa yang kuat tekannya 31,5 MPa.

E. Koefisien Drainase (C_d)

Sistem drainase jalan sangat mempengaruhi kinerja jalan. Kualitas drainase jalan ditentukan dari parameter tingkat kecepatan pengeringan air yang jatuh pada konstruksi jalan. Nilai C_d dapat dilihat pada Tabel 2.6.

F. Koefisien Transfer Beban (*Load Transfer Coefficient*)

Koefisien penyaluran beban (J) adalah faktor untuk menunjukkan kemampuan struktur perkerasan kaku dalam menyalurkan beban melewati sambungan atau retak. Nilai koefisien transfer beban (J) dapat dilihat pada Tabel 2.7.



Gambar 2.9: Grafik koreksi nilai *effective modulus of subgrade reaction* (AASHTO, 1993).

Tabel 2.6: Rekomendasi nilai Cd untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*), (AASHTO, 1993).

Kualitas drainase	Persen dari struktur perkerasan waktu terkena tingkat kelembaban mendekati saturasi			
	Kurang dari 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Lebih besar dari 25 %
Sangat baik	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Baik	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Fair	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Jelek	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Sangat jelek	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Tabel 2.7: Rekomendasi nilai J untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*), (AASHTO, 1993).

Bahu	Aspal		Tied P.C.C	
Perangkat transfer beban	Yes	No	Yes	No
Tipe perkerasan				
Plain bersendi dan bersendi diperkuat	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
CRCP	2.9 – 3.2	N/A	2.3 – 2.9	N/A

G. Analisa Lalu Lintas

Dalam prosedur desain AASHTO (1993), struktur perkerasan didesain terhadap volume lalu lintas rencana kumulatif selama umur rencana yang dikonversi menjadi repetisi beban sumbu standar 18 kips rencana dengan menggunakan faktor *ESAL* (*Equivalent Single Axle Load*). Faktor Distribusi Arah, (D_D) = 0.3 – 0.7, diambil 0.5, berdasarkan peraturan (AASHTO, 1993). Faktor Distribusi Lajur (D_L) = 0.8. Rumus umum *desain traffic* ($ESAL = Equivalent Single Axle Load$):

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LH R_j \times VD F_j \times D_D \times D_L \times 365 \quad (2.10)$$

Dimana:

- W_{18} = *Traffic desain* pada lajur lalu lintas, *ESAL*.
- $LH R_j$ = Jumlah LHR 2 arah untuk jenis kendaraan J.
- $VD F_j$ = *VDF* untuk jenis kendaraan J.
- D_D = Faktor distribusi arah.
- D_L = Faktor distribusi lajur.
- $N1$ = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka.
- Nn = Lalu lintas pada akhir umur rencana.

Dari langkah-langkah diatas maka perencanaan perkerasan kaku dapat ditulis dengan Pers. 2.11.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_D + 7,35 \log_{10} (D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,642 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} +$$

$$(4.22)$$

$$- 0,32 P_t) \times \log_{10} \frac{S_C' \cdot C_D \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_C / k)^{0,25}} \right]} \quad (2.11)$$

Dimana:

- W_{18} = *Traffic desain* pada lajur lalu lintas, *ESAL*.
- Z_R = Standar normal deviasi.
- S_D = Standar deviasi.
- D = Tebal pelat beton (*inchi*).

- ΔPSI = Total kehilangan pelayanan (*service*).
- P_t = Tingkat pelayanan pada akhir umur rencana.
- Sc' = *Modulus of rupture* sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).
- C_d = Koefisien drainase.
- J = Koefisien beban transfer.
- E_c = Modulus Elastisitas (psi).
- k = Modulus reaksi tanah dasar (pci).

2.3.3 Metode PCA (*Portland Cement Association*)

Metode PCA memiliki beberapa kelebihan antara lain adalah tidak memerlukan assessment yang berkaitan dengan iklim seperti kondisi beku yang tidak ditemui di Indonesia, serta tidak memerlukan parameter *serviceability* sehingga relatif lebih mudah.

Sebelum memulai perencanaan menggunakan metode PCA, ada beberapa parameter dibawah ini yang harus terlebih dahulu diketahui, yaitu:

1. Jenis sambungan dan bahu jalan
2. Kuat lentur beton (*MR*) pada umur 28 hari
3. Nilai konstanta (k) subgrade atau kombinasi subgrade dan subbase
4. Faktor keamanan beban (*LSF*)
5. Distribusi beban sumbu
6. Repetisi yang terjadi

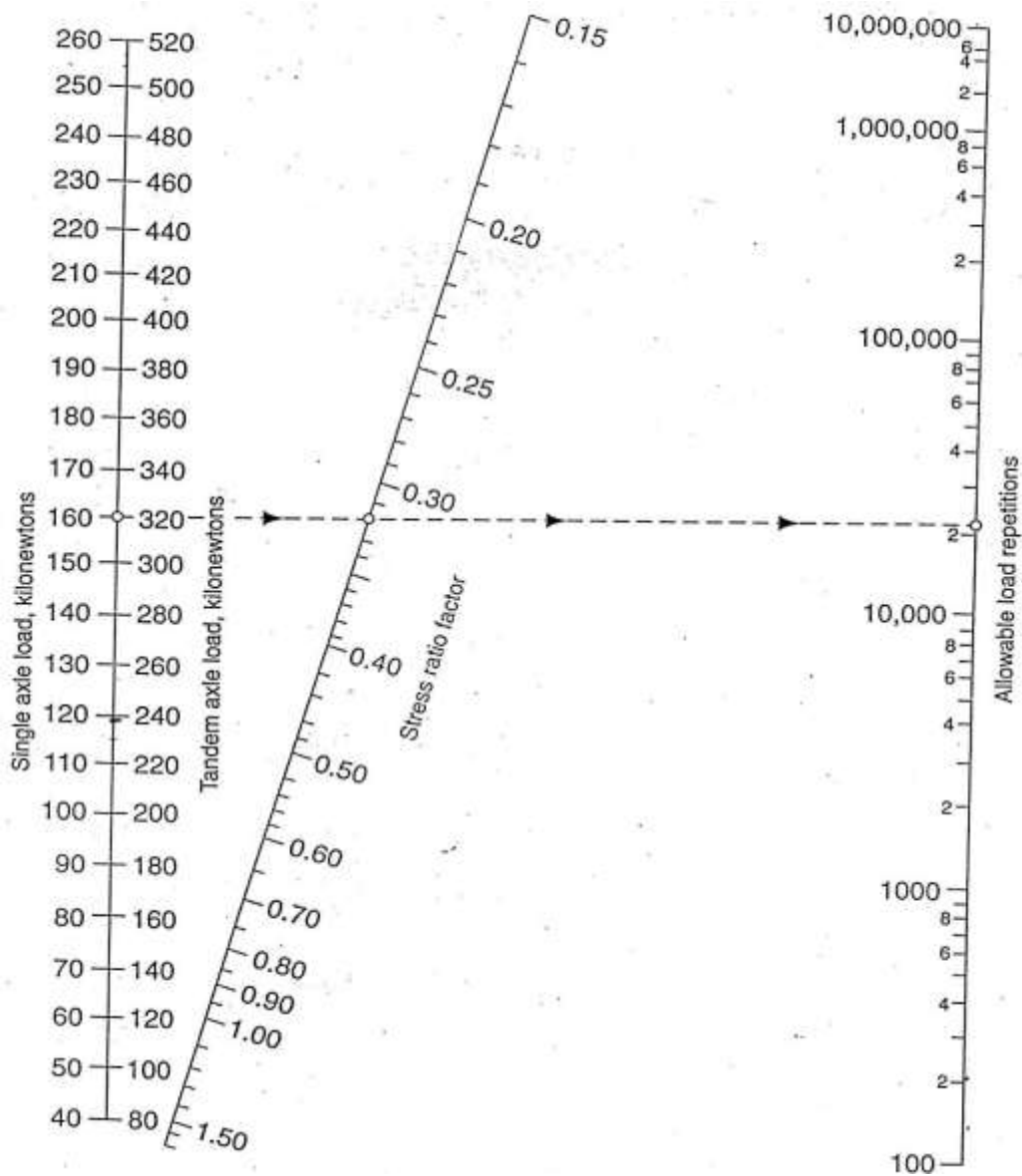
Kemudian dilanjutkan dengan *Fatigue analysis* (untuk mengontrol retak "fatik") dan *Fatigue erosion* (untuk mengontrol erosi pondasi, bahu jalan, dan pipa).

1. *Fatigue Analysis*

- Tanpa bahu jalan beton, gunakan Tabel 2.8a dan Gambar. 2.10 (Nomogram 4).
- Dengan bahu jalan beton, gunakan Tabel 2.8b dan Gambar. 2.10 (Nomogram 4).

Langkah - Langkah:

1. Tentukan nilai *Equivalent stress* yang diperoleh dari table “*Equivalent stress factors*” yang tergantung dari nilai tebal rencana dan nilai *k*.
2. *Stress ratio factor* diperoleh dengan membagi nilai *equivalent stress* dengan *modulus of rupture* beton.
3. Repetisi yang terjadi ditentukan oleh Gambar. 2.10 (Nomogram 4).
4. Jumlahkan total *fatigue* yang terjadi.



Gambar 2.10: Nomogram 4, *Fatigue analysis-allowable load repetitions based on stress ratio factor (with and without concrete shoulder) (Canadian, PCA).*

Tabel 2.8a: *Equivalent Stress- No Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42/4.39	4.75/3.83	4.38/3.59	4.13/3.44	3.66/3.22	3.45/3.15
110	4.74/3.88	4.16/3.35	3.85/3.12	3.63/2.97	3.23/2.76	3.06/2.68
120	4.19/3.47	3.69/2.98	3.41/2.75	3.23/2.62	2.88/2.40	2.73/2.33
130	3.75/3.14	3.30/2.68	3.06/2.46	2.89/2.33	2.59/2.13	2.46/2.05
140	3.37/2.87	2.97/2.43	2.76/2.23	2.61/2.10	2.34/1.90	2.23/1.83
150	3.06/2.64	2.70/2.23	2.51/2.04	2.37/1.92	2.13/1.72	2.03/1.65
160	2.79/2.45	2.47/2.06	2.29/1.87	2.17/1.76	1.95/1.57	1.86/1.50
170	2.56/2.28	2.26/1.91	2.10/1.74	1.99/1.63	1.80/1.45	1.71/1.38
180	2.37/2.14	2.09/1.79	1.94/1.62	1.84/1.51	1.66/1.34	1.58/1.27
190	2.19/2.01	1.94/1.67	1.80/1.51	1.71/1.41	1.54/1.25	1.47/1.18
200	2.04/1.90	1.80/1.58	1.67/1.42	1.59/1.33	1.42/1.17	1.37/1.11
210	1.91/1.79	1.68/1.49	1.56/1.34	1.48/1.25	1.34/1.10	1.28/1.04
220	1.79/1.70	1.57/1.41	1.46/1.27	1.39/1.18	1.26/1.03	1.20/0.98
230	1.68/1.62	1.48/1.34	1.38/1.21	1.31/1.12	1.18/0.98	1.13/0.92
240	1.58/1.55	1.39/1.28	1.30/1.15	1.23/1.06	1.11/0.93	1.06/0.87
250	1.49/1.48	1.32/1.22	1.22/1.09	1.16/1.01	1.05/0.88	1.00/0.83
260	1.41/1.41	1.25/1.17	1.16/1.05	1.10/0.97	0.99/0.84	0.95/0.79
270	1.34/1.36	1.18/1.12	1.10/1.00	1.04/0.93	0.94/0.80	0.90/0.75
280	1.28/1.30	1.12/1.07	1.04/0.96	0.99/0.89	0.89/0.77	0.86/0.72
290	1.22/1.25	1.07/1.03	0.99/0.92	0.94/0.85	0.85/0.74	0.81/0.69
300	1.16/1.21	1.02/0.99	0.95/0.89	0.90/0.82	0.81/0.71	0.78/0.66
310	1.11/1.16	0.97/0.96	0.90/0.86	0.86/0.79	0.77/0.68	0.74/0.64
320	1.06/1.12	0.93/0.92	0.86/0.83	0.82/0.76	0.74/0.66	0.71/0.62
330	1.02/1.09	0.89/0.89	0.83/0.80	0.78/0.74	0.71/0.63	0.68/0.59
340	0.98/1.05	0.85/0.86	0.79/0.77	0.75/0.71	0.68/0.61	0.65/0.57
350	0.94/1.02	0.82/0.84	0.76/0.75	0.72/0.69	0.65/0.59	0.62/0.55

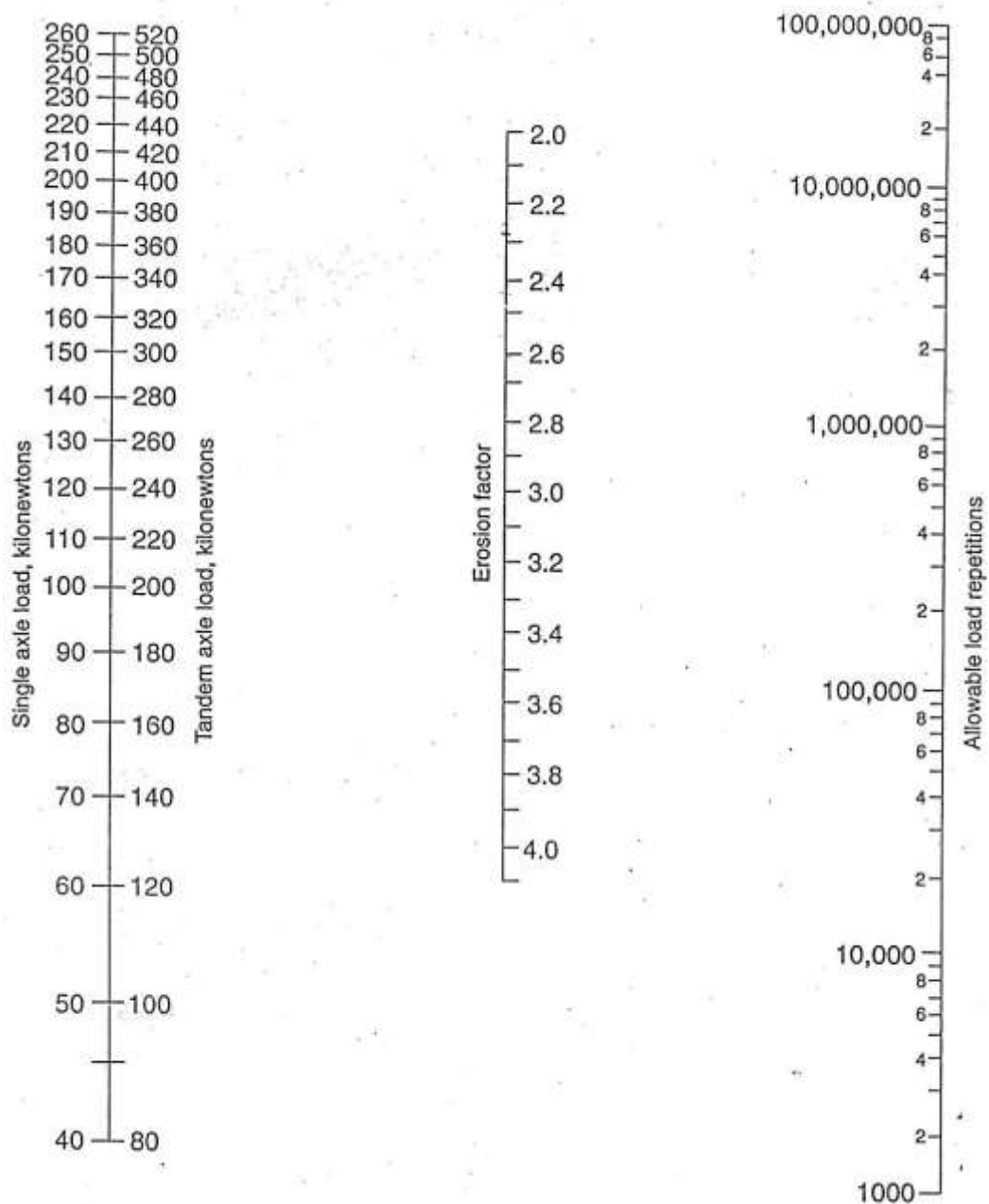
Tabel 2.8b: *Equivalent Stress-Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	4.18/3.48	3.65/3.10	3.37/2.94	3.19/2.85	2.85/2.74	2.72/2.72
110	3.68/3.07	3.23/2.71	2.99/2.56	2.83/2.47	2.55/2.35	2.43/2.32
120	3.28/2.75	2.88/2.41	2.67/2.26	2.54/2.17	2.29/2.05	2.19/2.02
130	2.95/2.49	2.60/2.17	2.41/2.02	2.29/1.94	2.07/1.82	1.99/1.78
140	2.68/2.27	2.36/1.97	2.19/1.83	2.08/1.75	1.89/1.63	1.81/1.59
150	2.44/2.08	2.15/1.80	2.00/1.67	1.90/1.59	1.73/1.48	1.66/1.44
160	2.24/1.93	1.97/1.66	1.84/1.53	1.75/1.46	1.59/1.35	1.53/1.31
170	2.06/1.79	1.82/1.54	1.70/1.42	1.62/1.35	1.48/1.24	1.42/1.20
180	1.91/1.67	1.69/1.43	1.57/1.32	1.50/1.25	1.37/1.15	1.32/1.11
190	1.77/1.57	1.57/1.34	1.46/1.23	1.40/1.17	1.28/1.07	1.23/1.03
200	1.65/1.48	1.46/1.26	1.37/1.16	1.30/1.10	1.19/1.00	1.15/0.96
210	1.55/1.40	1.37/1.19	1.28/1.09	1.22/1.03	1.12/0.93	1.08/0.90
220	1.45/1.32	1.29/1.12	1.20/1.03	1.15/0.97	1.05/0.88	1.01/0.85
230	1.37/1.26	1.21/1.07	1.13/0.98	1.08/0.92	0.99/0.83	0.96/0.80
240	1.29/1.20	1.15/1.01	1.07/0.93	1.02/0.87	0.94/0.79	0.90/0.76
250	1.22/1.14	1.08/0.97	1.01/0.88	0.97/0.83	0.89/0.75	0.86/0.72
260	1.16/1.09	1.03/0.92	0.96/0.84	0.92/0.79	0.84/0.71	0.81/0.68
270	1.10/1.04	0.98/0.88	0.91/0.81	0.87/0.76	0.80/0.68	0.77/0.65
280	1.05/1.00	0.93/0.85	0.87/0.77	0.83/0.73	0.76/0.65	0.74/0.62
290	1.00/0.96	0.89/0.81	0.83/0.74	0.79/0.70	0.73/0.62	0.70/0.60
300	0.95/0.93	0.85/0.78	0.79/0.71	0.76/0.67	0.70/0.60	0.67/0.57
310	0.91/0.89	0.81/0.75	0.76/0.69	0.72/0.64	0.67/0.58	0.64/0.55
320	0.87/0.86	0.78/0.73	0.73/0.66	0.69/0.62	0.64/0.55	0.62/0.53
330	0.84/0.83	0.74/0.70	0.70/0.64	0.67/0.60	0.61/0.53	0.59/0.51
340	0.80/0.80	0.71/0.68	0.67/0.62	0.64/0.58	0.59/0.52	0.57/0.49
350	0.77/0.78	0.69/0.66	0.64/0.60	0.61/0.56	0.57/0.50	0.55/0.47

2. Erosian Analysis

- Tanpa Bahu Jalan Beton

1. Untuk sambungan *dowel* atau perkerasan beton bertulang menerus gunakan Tabel 2.9a dan Gambar 2.11 (Nomogram 5).
2. Untuk *aggregate-intenlock joint* gunakan Tabel 2.9b dan Gambar. 2.11 (Nomogram 5).



Gambar 2.11: Nomogram 5, *Erosion analysis-allowable load repetitions based on Erosion factor (without concrete shoulder) (Canadian, PCA)*.

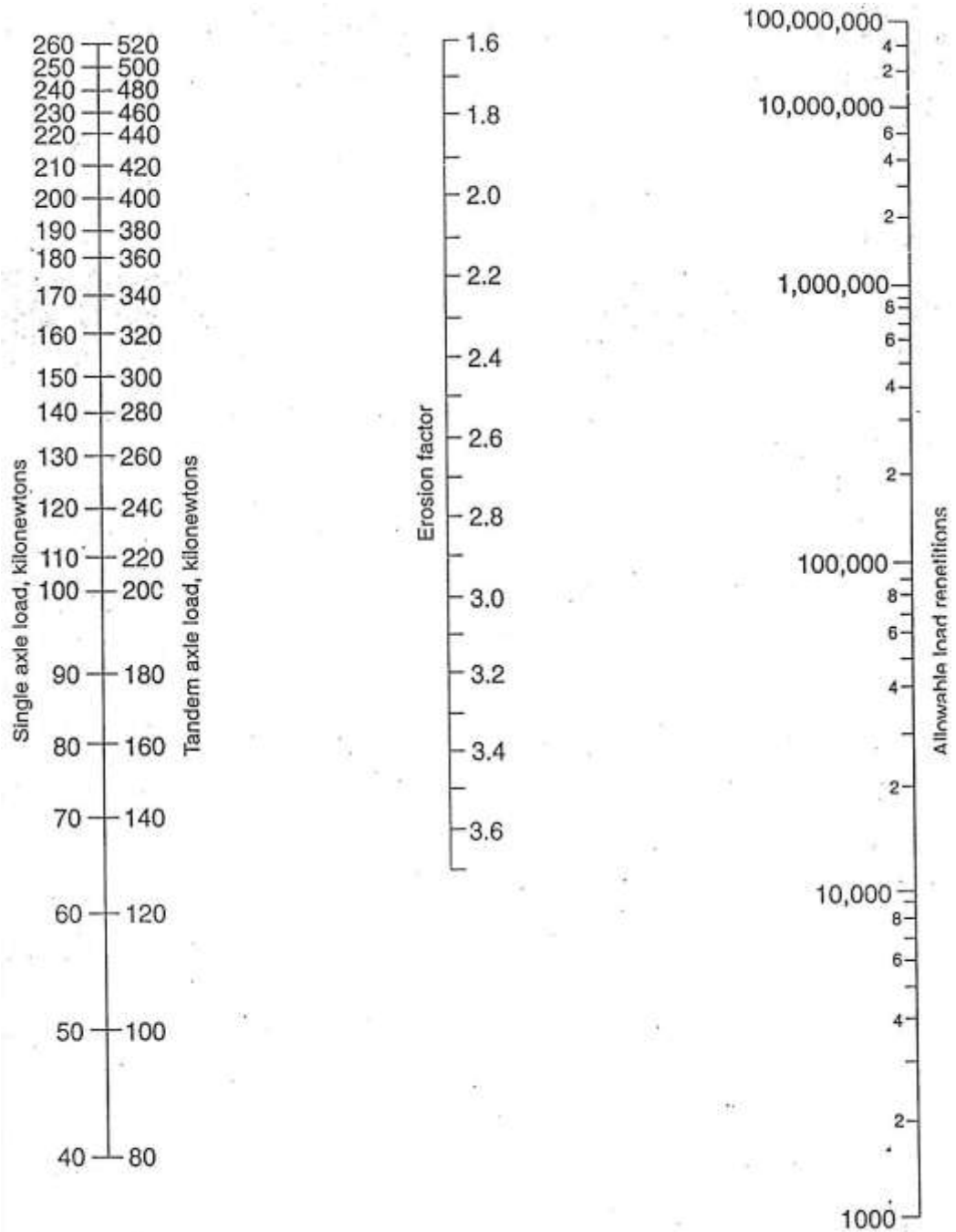
Tabel 2.9a: *Erosion Factors-Doweled joints, No concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.76/3.8	3.752/3.79	3.74 /3.77	3.74/3.76	3.72/3.72	3.70/3.70
110	3.63/3.71	3.62/3.67	3.61/3.65	3.61/3.63	3.59/3.60	3.58/3.58
120	3.52/3.61	3.50/3.56	3.49/3.54	3.49/3.52	3.47/3.49	3.46/3.47
130	3.74/3.52	3.39/3.47	3.39/3.44	3.38/3.43	3.37/3.39	3.35/3.37
140	3.31/3.43	3.30/3.38	3.29/3.35	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
150	3.22/3.36	3.21/3.30	3.20/3.27	3.19/3.25	3.17/3.21	3.16/3.19
160	3.14/3.28	3.12/3.22	3.11/3.19	3.10/3.17	3.09/3.13	3.08/3.12
170	3.06/3.22	3.04/3.15	3.03/3.12	3.02/3.10	3.01/3.06	3.00/3.04
180	2.99/3.16	2.97/3.09	2.96/3.06	2.95/3.03	2.93/2.99	2.92/2.97
190	2.92/3.10	2.90/3.03	2.88/2.99	2.88/2.97	2.86/2.93	2.85/2.91
200	2.85/3.05	2.83/2.97	2.82/2.94	2.81/2.91	2.79/2.87	2.78/2.85
210	2.79/2.99	2.77/2.92	2.75/2.88	2.75/2.86	2.73/2.81	2.72/2.79
220	2.73/2.95	2.71/2.87	2.69/2.83	2.69/2.80	2.67/2.76	2.66/2.73
230	2.67/2.90	2.65/2.82	2.64/2.78	2.63/2.75	2.61/2.70	2.60/2.68
240	2.62/2.86	2.60/2.78	2.58/2.73	2.57/2.71	2.55/2.66	2.54/2.63
250	2.57/2.8	2.54/2.73	2.53/2.69	2.52/2.66	2.50/2.61	2.49/2.59
260	2.52/2.78	2.49/2.69	2.48/2.65	2.47/2.62	2.45/2.56	2.44/2.54
270	2.47/2.74	2.44/2.65	2.43/2.61	2.42/2.58	2.40/2.52	2.39/2.50
280	2.42/2.71	2.40/2.62	2.38/2.57	2.37/2.54	2.35/2.48	2.34/2.46
290	2.38/2.67	2.35/2.58	2.34/2.53	2.33/2.50	2.31/2.44	2.30/2.42
300	2.34/2.64	2.31/2.55	2.30/2.50	2.29/2.46	2.26/2.41	2.26/2.38
310	2.29/2.61	2.27/2.51	2.25/2.46	2.24/2.43	2.22/2.37	2.21/2.34
320	2.25/2.58	2.23/2.48	2.21/2.43	2.20/2.40	2.18/2.33	2.17/2.31
330	2.21/2.55	2.19/2.45	2.17/2.40	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.28
340	2.18/2.52	2.15/2.42	2.14/2.37	2.12/2.33	2.10/2.27	2.09/2.24
350	2.14/2.49	2.11/2.39	2.10/2.34	2.09/2.30	2.07/2.24	2.06/2.21

Tabel 2. 9b: *Erosion Factors-Aggregate-Interlock joints, No concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.94/4.00	3.92/3.93	3.90/3.90	3.88/3.88	3.84/3.84	3.80/3.82
110	3.82/3.90	3.79/3.82	3.78/3.79	3.76/3.76	3.72/3.72	3.69/3.70
120	3.71/3.81	3.68/3.73	3.67/3.69	3.65/3.66	3.62/3.62	3.59/3.59
130	3.61/3.73	3.58/3.65	3.56/3.60	3.55/3.57	3.52/3.52	3.50/3.49
140	3.52/3.66	3.49/3.57	3.47/3.52	3.46/3.49	3.43/3.43	3.41/3.41
150	3.43/3.59	3.40/3.50	3.38/3.45	3.37/3.42	3.34/3.36	3.32/3.33
160	3.35/3.53	3.32/3.43	3.30/3.38	3.29/3.35	3.26/3.28	3.24/3.26
170	3.28/3.48	3.24/3.37	3.22/3.32	3.21/3.28	3.18/3.22	3.17/3.19
180	3.21/3.42	3.17/3.32	3.15/3.26	3.14/3.23	3.11/3.16	3.10/3.13
190	3.15/3.37	3.11/3.27	3.08/3.21	3.07/3.17	3.04/3.10	3.03/3.07
200	3.09/3.33	3.04/3.22	3.02/3.16	3.01/3.12	2.98/3.05	2.96/3.01
210	3.04/3.28	2.99/3.17	2.96/3.11	2.95/3.07	2.92/3.00	2.90/2.96
220	2.98/3.24	2.93/3.13	2.90/3.07	2.89/3.03	2.86/2.95	2.85/2.92
230	2.93/3.20	2.88/3.09	2.85/3.03	2.83/2.98	2.80/2.91	2.79/2.87
240	2.89/3.16	2.83/3.05	2.80/2.99	2.78/2.94	2.75/2.86	2.74/2.83
250	2.84/3.13	2.78/3.01	2.75/2.95	2.73/2.91	2.70/2.82	2.69/2.79
260	2.80/3.09	2.73/2.98	2.70/2.91	2.69/2.87	2.65/2.79	2.64/2.75
270	2.76/3.06	2.69/2.94	2.66/2.88	2.64/2.83	2.61/2.75	2.59/2.71
280	2.72/3.03	2.65/2.91	2.62/2.84	2.60/2.80	2.56/2.71	2.55/2.68
290	2.68/3.00	2.61/2.88	2.58/2.81	2.56/2.77	2.52/2.68	2.50/2.64
300	2.65/2.97	2.57/2.85	2.54/2.78	2.52/2.74	2.48/2.65	2.46/2.61
310	3.61/2.94	2.54/2.82	2.50/2.75	2.48/2.71	2.44/2.62	2.42/2.58
320	2.58/2.91	2.50/2.79	2.47/2.72	2.44/2.68	2.40/2.59	2.38/2.55
330	2.55/2.89	2.47/2.77	2.43/2.70	2.41/2.65	2.36/2.56	2.35/2.52
340	2.52/2.86	2.44/2.74	2.40/2.67	2.37/2.62	2.33/2.53	2.31/2.49
350	2.49/2.84	2.41/2.71	2.37/2.65	2.34/2.60	2.29/2.51	2.28/2.47

- Dengan Bahu Jalan Beton
 1. Untuk sambungan *dowel* atau perkerasan beton bertulang menerus gunakan Tabel 2.10a dan Gambar. 2.12 (Nomogram 6).
 2. Untuk *aggregate-intenlock joint* gunakan Tabel 2.10b dan Gambar. 2.12 (Nomogram 6).



Gambar 2.12: Nomogram 6, *Erosion analysis-allowable load repetitions based on Erosion factor (with concrete shoulder) (Canadian, PCA).*

Tabel 2.10a: *Erosion Factors-Doweled joints, Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.27/3.25	3.24/3.17	3.22/3.14	3.21/3.12	3.17/3.11	3.15/3.11
110	3.16/3.16	3.12/3.07	3.10/3.03	3.09/3.00	3.05/2.98	3.03/2.97
120	3.05/3.08	3.01/2.98	2.99/2.93	2.98/2.90	2.94/2.86	2.92/2.84
130	2.96/3.01	2.92/2.90	2.89/2.85	2.88/2.81	2.84/2.76	2.82/2.74
140	2.87/2.94	2.82/2.83	2.80/2.77	2.78/2.74	2.75/2.67	2.73/2.65
150	2.79/2.88	2.74/2.77	2.72/2.71	2.70/2.67	2.67/2.60	2.65/2.57
160	2.71/2.82	2.66/2.71	2.64/2.65	2.62/2.60	2.59/2.53	2.57/2.50
170	2.64/2.77	2.59/2.65	2.57/2.59	2.55/2.55	2.51/2.46	2.49/2.43
180	2.57/2.72	2.52/2.60	2.50/2.54	2.48/2.49	2.44/2.41	2.42/2.37
190	2.51/2.67	2.46/2.56	2.43/2.49	2.41/2.44	2.38/2.35	2.36/2.32
200	2.45/2.63	2.40/2.51	2.37/2.44	2.35/2.40	2.31/2.31	2.30/2.27
210	2.39/2.58	2.34/2.47	2.31/2.40	2.29/2.35	2.26/2.26	2.24/2.22
220	2.34/2.54	2.29/2.43	2.26/2.36	2.24/2.31	2.20/2.22	2.18/2.18
230	2.29/2.50	2.23/2.39	2.21/2.32	2.19/2.27	2.15/2.18	2.13/2.13
240	2.24/2.46	2.18/2.35	2.16/2.28	2.13/2.23	2.10/2.14	2.08/2.10
250	2.19/2.43	2.14/2.31	2.11/2.24	2.09/2.20	2.05/2.10	2.03/2.06
260	2.15/2.39	2.09/2.28	2.06/2.21	2.04/2.16	2.00/2.07	1.98/2.02
270	2.10/2.36	2.05/2.24	2.02/2.18	2.00/2.13	1.96/2.03	1.94/1.99
280	2.06/2.32	2.01/2.21	1.98/2.14	1.95/2.10	1.91/2.00	1.89/1.96
290	2.02/2.29	1.97/2.18	1.93/2.11	1.91/2.06	1.87/1.97	1.85/1.93
300	1.98/2.26	1.93/2.15	1.90/2.08	1.87/2.03	1.83/1.94	1.81/1.90
310	1.95/2.23	1.89/2.12	1.86/2.05	1.84/2.01	1.79/1.91	1.77/1.87
320	1.91/2.20	1.85/2.09	1.82/2.03	1.80/1.98	1.76/1.88	1.74/1.84
330	1.87/2.17	1.82/2.06	1.78/2.00	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.81
340	1.84/2.15	1.78/2.04	1.75/1.97	1.73/1.92	1.69/1.83	1.67/1.79
340	1.81/2.12	1.75/2.01	1.72/1.95	1.69/1.90	1.65/1.80	1.63/1.76

Tabel 2.10b: *Erosion Factors-Aggregate-Interlock joints, Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.45/3.45	3.41/3.36	3.39/3.33	3.38/3.31	3.34/3.28	3.31/3.27
110	3.34/3.36	3.30/3.27	3.28/3.22	3.27/3.20	3.23/3.16	3.20/3.15
120	3.24/3.28	3.20/3.18	3.18/3.13	3.16/3.11	3.13/3.06	3.11/3.04
130	3.15/3.21	3.11/3.11	3.08/3.05	3.07/3.02	3.04/2.97	3.02/2.95
140	3.07/3.15	3.02/3.04	3.00/2.98	2.98/2.95	2.95/2.89	2.93/2.86
150	2.99/3.09	2.94/2.98	2.92/2.92	2.90/2.88	2.87/2.82	2.85/2.79
160	2.91/3.04	2.87/2.92	2.84/2.86	2.83/2.82	2.80/2.75	2.78/2.72
170	2.85/2.99	2.80/2.87	2.77/2.81	2.76/2.77	2.73/2.69	2.71/2.66
180	2.78/2.94	2.73/2.82	2.71/2.76	2.69/2.71	2.66/2.64	2.64/2.61
190	2.73/2.90	2.67/2.77	2.64/2.71	2.63/2.67	2.60/2.59	2.58/2.55
200	2.67/2.86	2.61/2.73	2.59/2.67	2.57/2.62	2.54/2.54	2.52/2.51
210	2.62/2.82	2.56/2.69	2.53/2.63	2.51/2.58	2.48/2.50	2.47/2.46
220	2.57/2.78	2.51/2.66	2.48/2.59	2.46/2.54	2.43/2.46	2.41/2.42
230	2.52/2.75	2.46/2.62	2.43/2.55	2.41/2.50	2.38/2.42	2.36/2.38
240	2.47/2.72	2.41/2.59	2.38/2.52	2.36/2.47	2.33/2.38	2.31/2.34
250	2.43/2.69	2.37/2.55	2.34/2.48	2.32/2.43	2.28/2.35	2.27/2.31
260	2.39/2.66	2.33/2.52	2.29/2.45	2.27/2.40	2.24/2.31	2.22/2.37
270	2.35/2.63	2.28/2.49	2.25/2.42	2.23/2.37	2.20/2.28	2.18/2.24
280	2.31/2.60	2.25/2.47	2.21/2.39	2.19/2.34	2.16/2.25	2.14/2.21
290	2.28/2.58	2.21/2.44	2.17/2.37	2.15/2.32	2.12/2.22	2.10/2.18
300	2.24/2.55	2.17/2.41	2.14/2.34	2.12/2.29	2.08/2.19	2.06/2.15
310	2.21/2.53	2.14/2.39	2.10/2.31	2.08/2.26	2.04/2.17	2.02/2.13
320	2.18/2.50	2.11/2.36	2.07/2.29	2.05/2.24	2.01/2.14	1.99/2.10
330	2.15/2.48	2.07/2.34	2.04/2.27	2.01/2.21	1.97/2.12	1.95/2.07
340	2.12/2.46	2.04/2.32	2.01/2.24	1.98/2.19	1.94/2.09	1.92/2.05
350	2.09/2.44	2.01/2.30	1.97/2.22	1.95/2.17	1.91/2.07	1.89/2.03

3. Tridem Axle Load

Khusus untuk analisis beban sumbu tridem nilai *equivalent stress* dan *erosion factor* bisa dilihat pada Tabel 2.11, 2.12, dan 2.13. Untuk menentukan repetisi ijin gunakan Gambar 2.11 untuk *fatic analysis*, dan Gambar 2.12 untuk *erosion analysis*. Setelah itu gunakan sumbu tunggal dengan terlebih dahulu membagi 3 beban sumbu tridem berikut.

Tabel 2.11: *Equivalent Stress-Tridems (Without Concrete Shoulder/with Concrete Shoulder) (Canadian, PCA)*.

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.36/2.87	3.10/2.67	3.02/2.60	2.98/2.57	2.94/2.56	2.93/2.57
110	2.92/2.50	2.64/2.29	2.55/2.22	2.50/2.18	2.45/2.16	2.44/2.16
120	2.60/2.20	2.30/2.00	2.20/1.93	2.14/1.89	2.08/1.85	2.07/1.85
130	2.35/1.97	2.04/1.78	1.93/1.70	1.87/1.66	1.80/1.61	1.78/1.61
140	2.15/1.78	1.83/1.59	1.72/1.52	1.65/1.48	1.58/1.43	1.55/1.42
150	1.99/1.62	1.67/1.44	1.55/1.37	1.48/1.33	1.40/1.24	1.37/1.26
160	1.85/1.49	1.54/1.32	1.41/1.24	1.34/1.20	1.25/1.15	1.23/1.13
170	1.73/1.38	1.43/1.21	1.30/1.14	1.23/1.10	1.14/1.04	1.11/1.03
180	1.62/1.28	1.34/1.12	1.21/1.05	1.14/1.01	1.04/0.96	1.01/0.94
190	1.53/1.19	1.26/1.04	1.13/0.98	1.06/0.94	0.96/0.88	0.92/0.86
200	1.45/1.12	1.19/0.98	1.07/0.91	0.99/0.87	0.89/0.82	0.85/0.80
210	1.37/1.05	1.13/0.92	1.01/0.85	0.93/0.81	0.83/0.76	0.79/0.74
220	1.30/0.99	1.07/0.86	0.95/0.80	0.88/0.76	0.78/0.71	0.74/0.69
230	1.24/0.93	1.02/0.81	0.91/0.76	0.84/0.72	0.73/0.67	0.70/0.65
240	1.18/0.88	0.97/0.77	0.87/0.71	0.80/0.68	0.69/0.63	0.66/0.61
250	1.13/0.84	0.93/0.73	0.83/0.68	0.76/0.64	0.66/0.59	0.62/0.57
260	1.07/0.79	0.89/0.70	0.79/0.64	0.73/0.61	0.63/0.56	0.59/0.54
270	1.02/0.75	0.86/0.66	0.76/0.61	0.70/0.58	0.60/0.53	0.57/0.52
280	0.98/0.72	0.82/0.63	0.73/0.59	0.67/0.56	0.58/0.51	0.54/0.49
290	0.93/0.68	0.79/0.60	0.71/0.56	0.65/0.53	0.55/0.49	0.52/0.47
300	0.89/0.65	0.76/0.58	0.68/0.54	0.63/0.51	0.53/0.46	0.50/0.45
310	0.85/0.62	0.73/0.55	0.66/0.51	0.60/0.49	0.51/0.44	0.48/0.43
320	0.81/0.59	0.70/0.53	0.63/0.49	0.58/0.47	0.50/0.43	0.46/0.41
330	0.77/0.57	0.68/0.51	0.61/0.47	0.56/0.45	0.48/0.41	0.45/0.39
340	0.73/0.54	0.65/0.49	0.59/0.46	0.55/0.43	0.46/0.39	0.43/0.38
350	0.70/0.52	0.63/0.47	0.57/0.44	0.53/0.42	0.45/0.38	0.42/0.36

Tabel 2.12: *Erosion Factors-Tridems-Doweled joints (Without Concrete Shoulder/with Concrete Shoulder) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.86/3.27	3.80/3.17	3.75/3.13	3.71/3.12	3.62/3.07	3.56/3.03
110	3.76/3.19	3.69/3.07	3.65/3.02	3.62/3.00	3.53/2.95	3.48/2.92
120	3.68/3.12	3.60/2.99	3.56/2.93	3.52/2.90	3.45/2.85	3.40/2.82
130	3.60/3.06	3.51/2.92	3.47/2.85	3.44/2.81	3.37/2.76	3.33/2.73
140	3.53/3.00	3.43/2.86	3.39/2.78	3.36/2.74	3.29/2.67	3.26/2.64
150	3.47/2.95	3.36/2.80	3.31/2.73	3.28/2.67	3.22/2.59	3.19/2.56
160	3.41/2.91	3.30/2.76	3.25/2.67	3.21/2.62	3.15/2.52	3.12/2.49
170	3.35/2.86	3.24/2.71	3.19/2.62	3.15/2.57	3.08/2.47	3.05/2.43
180	3.30/2.82	3.19/2.67	3.13/2.58	3.09/2.52	3.02/2.41	2.99/2.37
190	3.25/2.79	3.14/2.63	3.08/2.54	3.04/2.48	2.96/2.37	2.93/2.32
200	3.21/2.75	3.09/2.59	3.03/2.50	2.99/2.44	2.91/2.32	2.88/2.28
210	3.16/2.72	3.05/2.56	2.99/2.47	2.94/2.40	2.86/2.28	2.83/2.23
220	3.12/2.68	3.01/2.53	2.94/2.43	2.90/2.37	2.82/2.25	2.78/2.20
230	3.08/2.65	2.97/2.49	2.90/2.40	2.86/2.34	2.77/2.21	2.74/2.16
240	3.05/2.62	2.93/2.46	2.86/2.37	2.82/2.31	2.73/2.18	2.69/2.13
250	3.01/2.59	2.89/2.44	2.83/2.34	2.78/2.28	2.69/2.15	2.65/2.10
260	2.98/2.57	2.86/2.41	2.79/2.32	2.74/2.25	2.66/2.12	2.62/2.07
270	2.94/2.54	2.82/2.38	2.76/2.29	2.71/2.22	2.62/2.10	2.58/2.04
280	2.91/2.51	2.79/2.36	2.72/2.26	2.68/2.20	2.59/2.07	2.55/2.01
290	2.88/2.49	2.76/2.33	2.69/2.24	2.65/2.17	2.55/2.04	2.51/1.99
300	2.85/2.47	2.73/2.31	2.66/2.22	2.62/2.15	2.52/2.02	2.48/1.96
310	2.82/2.44	2.70/2.29	2.63/2.19	2.59/2.13	2.49/2.00	2.45/1.94
320	2.80/2.42	2.68/2.26	2.61/2.17	2.56/2.10	2.46/1.97	2.42/1.92
330	2.77/2.40	2.65/2.24	2.58/2.15	2.53/2.08	2.44/1.95	2.40/1.89
340	2.74/2.38	2.62/2.22	2.55/2.13	2.50/2.06	2.41/1.93	2.37/1.87
350	2.72/2.36	2.60/2.20	2.53/2.11	2.48/2.04	2.38/1.91	2.34/1.85

Tabel 2.13: *Erosion Factors-Tridems-Aggregate-Interlock joints (Without Concrete Shoulder/with Concrete Shoulder) (Canadian, PCA).*

Slab thickness (mm)	k of subgrade-subbase (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	4.03/3.44	3.93/3.35	3.88/3.30	3.84/3.27	3.75/3.22	3.70/3.19
110	3.93/3.36	3.84/3.26	3.78/3.20	3.74/3.17	3.66/3.12	3.61/3.09
120	3.85/3.29	3.75/3.18	3.70/3.12	3.66/3.09	3.57/3.02	3.53/2.99
130	3.77/3.23	3.68/3.11	3.62/3.05	3.58/3.01	3.50/2.94	3.45/2.91
140	3.70/3.17	3.60/3.04	3.55/2.98	3.51/2.94	3.42/2.87	3.38/2.83
150	3.64/3.12	3.54/2.99	3.48/2.92	3.44/2.88	3.36/2.80	3.32/2.77
160	3.58/3.08	3.47/2.94	3.42/2.87	3.38/2.82	3.29/2.74	3.25/2.70
170	3.52/3.03	3.42/2.89	3.36/2.82	3.32/2.77	3.23/2.69	3.19/2.65
180	3.47/2.99	3.36/2.85	3.30/2.77	3.26/2.72	3.18/2.63	3.14/2.60
190	3.42/2.96	3.31/2.81	3.25/2.73	3.21/2.68	3.13/2.59	3.09/2.55
200	3.37/2.93	3.26/2.77	3.20/2.69	3.16/2.64	3.08/2.54	3.04/2.50
210	3.33/2.89	3.22/2.74	3.16/2.65	3.11/2.60	3.03/2.50	2.99/2.46
220	3.29/2.87	3.18/2.71	3.11/2.62	3.07/2.56	2.99/2.47	2.95/2.42
230	3.25/2.84	3.13/2.68	3.07/2.59	3.03/2.53	2.94/2.43	2.91/2.38
240	3.21/2.81	3.10/2.65	3.03/2.56	2.99/2.50	2.90/2.40	2.86/2.35
250	3.17/2.79	3.06/2.62	2.99/2.53	2.95/2.47	2.87/2.37	2.83/2.32
260	3.14/2.77	3.02/2.60	2.96/2.50	2.91/2.44	2.83/2.34	2.79/2.29
270	3.10/2.74	2.99/2.57	2.92/2.48	2.88/2.42	2.79/2.31	2.75/2.26
280	3.07/2.72	2.96/2.55	2.89/2.46	2.85/2.39	2.76/2.28	2.72/2.23
290	3.04/2.70	2.92/2.53	2.86/2.43	2.81/2.37	2.73/2.26	2.69/2.20
300	3.01/2.68	2.89/2.51	2.83/2.41	2.78/2.35	2.69/2.23	2.65/2.18
310	2.98/2.67	2.87/2.49	2.80/2.39	2.75/2.33	2.66/2.21	2.62/2.16
320	2.96/2.65	2.84/2.47	2.77/2.37	2.72/2.31	2.63/2.19	2.59/2.13
330	2.93/2.63	2.81/2.45	2.74/2.35	2.70/2.29	2.61/2.17	2.57/2.11
340	2.91/2.61	2.78/2.43	2.72/2.33	2.67/2.27	2.58/2.15	2.54/2.09
350	2.88/2.60	2.76/2.42	2.69/2.32	2.64/2.25	2.55/2.13	2.51/2.07

Kemudian, setelah memilih jenis perkerasan (perkerasan beton sambungan dengan atau tanpa “*dowel*”, perkerasan beton bertulang dengan *dowel*, atau perkerasan menerus), jenis *subbase*, dan jenis bahu jalan. Tebal perkerasan dapat dihitung berdasarkan 4 faktor berikut ini:

1. Kuat lentur beton (*Modulus of Rupture, MR*)
2. Kekuatan *subgrade*, atau kombinasi *subgrade dan subbase (K)*
3. Berat, frekuensi dan jenis beban sumbu truk yang akan dipikul perkerasan
4. Umur rencana

Ke empat faktor ini akan dibahas lebih detail pada bagian dibawah ini.

1. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton digunakan pada prosedur perencanaan untuk keperluan *fatigue analysis*, yang mengontrol retak yang terjadi pada perkerasan dibawah pembebanan truk yang berulang.

Lendutan perkerasan kaku akibat beban sumbu menghasilkan tegangan tekan dan lentur, akan tetapi ratio antara tegangan tekan dan kuat tekan sangat kecil pengaruhnya terhadap ketebalan perkerasan. Sedangkan *ratio* antara tegangan lentur dan kuat lentur lebih besar, biasanya melampaui 0,5. Sehingga tegangan lentur dan kuat lentur beton digunakan pada perencanaan perkerasan. Kuat lentur ditentukan oleh uji *Modulus of Rupture*, biasanya diuji pada balok ukuran 150 x 150 x 760 mm.

Modulus of Rupture beton juga bisa didapatkan dari hasil uji tekan beton, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MR = K \sqrt{Fc'} \quad (2.12)$$

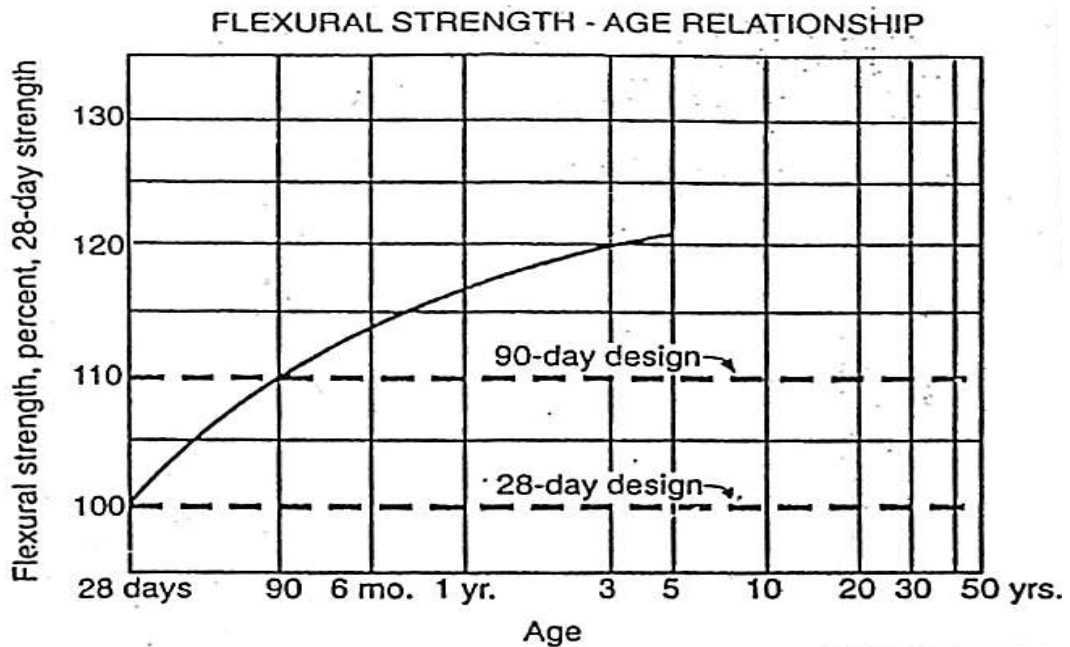
Dimana:

MR = Kuat lentur (MPa).

K = Konstanta, biasanya diantara 0,7 (untuk agregat bulat) dan 0,8 (untuk agregat pecah).

Fc' = Kuat tekan (MPa).

Untuk perencanaan ketebalan perkerasan jalan raya disarankan menggunakan kuat tekan beton untuk 28 hari.



Gambar 2.13: Grafik *Flexural strength, age dan design relationships* (Canadian, PCA).

2. Tanah Dasar dan Lapis Pondasi

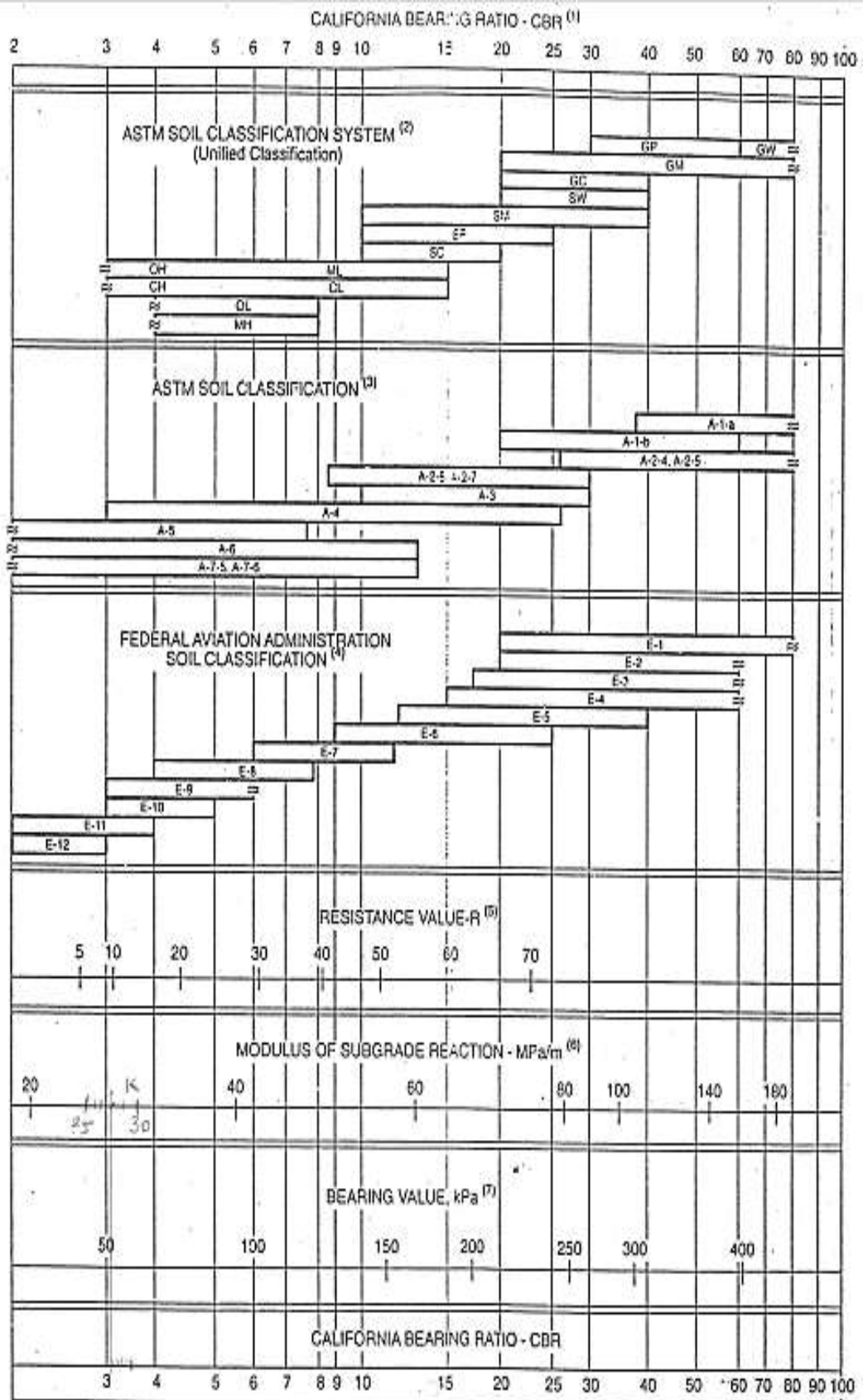
Faktor yang kedua dalam perencanaan ketebalan perkerasan adalah dukungan dari subgrade dan subbase. Dukungan dari *subgrade* dan *subbase* ini ditetapkan dengan *modulus of subgrade reaction westegard* (k) yang sama dengan beban dalam newton per millimeter kuadrat pada daerah yang dibebani dibagi dengan defleksi dalam millimeter akibat beban, sehingga memberikan nilai k dalam satuan MPa/m. Karena uji "*plate-loading*" sangat mahal dan membutuhkan waktu yang lama, nilai k biasanya dihitung korelasinya dengan *California Bearing Ratio* (*CBR*) atau nilai uji R (Gambar 2.14) menggunakan grafik korelasinya. Kemudian nilai K *subgrade* ini akan dikombinasikan dengan nilai K *subbase* sesuai dengan Tabel 2.14 (untuk *untreated subbase*) dan Tabel 2.15 (untuk *cement treated subbase*).

Tabel 2.14: *Effect of Untreated Subbase on k Values (Canadian, PCA).*

<i>Subgrade k value</i>		<i>Subbase k value</i>							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa /m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	Pci
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Tabel 2.15: *Design k Values for Cement-Treated Subbase (Canadian, PCA).*

<i>Subgrade k value</i>		<i>Subbase k value</i>							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa /m	Pci	Mpa/m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	Pci
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	-	-



Gambar 2.14: Approximate interrelationships of soil classifications and bearing values (Canadian, PCA).

3. Umur Rencana

Umur rencana sangat mempengaruhi ketebalan perkerasan, karena akan menentukan berapa tahun dan berapa banyak truk yang akan dipikul oleh perkerasan. Pemilihan umur rencana ditentukan oleh kebijaksanaan perencanaan dan analisis ekonomi dari biaya perkerasan dan pelayanan selama umur perkerasan. Umur rencana yang sering digunakan berkisar antara 20 - 30 tahun.

4. Lalu Lintas

Jumlah dari berat sumbu truk yang direncanakan adalah faktor yang paling menentukan dalam perencanaan ketebalan perkerasan kaku yang dinyatakan dalam:

- ADT (Lintas harian rata-rata pada kedua arah, semua kendaraan).
- ADTT (Lintas harian rata-rata truk pada kedua arah).
- Beban sumbu truk.

➤ Proyeksi (*Projection*)

Untuk mendapatkan ADT rencana diperlukan laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dan projection factor lalu lintas. Tabel 2.16 menunjukkan hubungan antara laju pertumbuhan per tahun dengan *projection factor*.

Tabel 2.16: *Yearly Rates of Traffic Growth and Corresponding Projection Factors (Canadian, PCA)*.

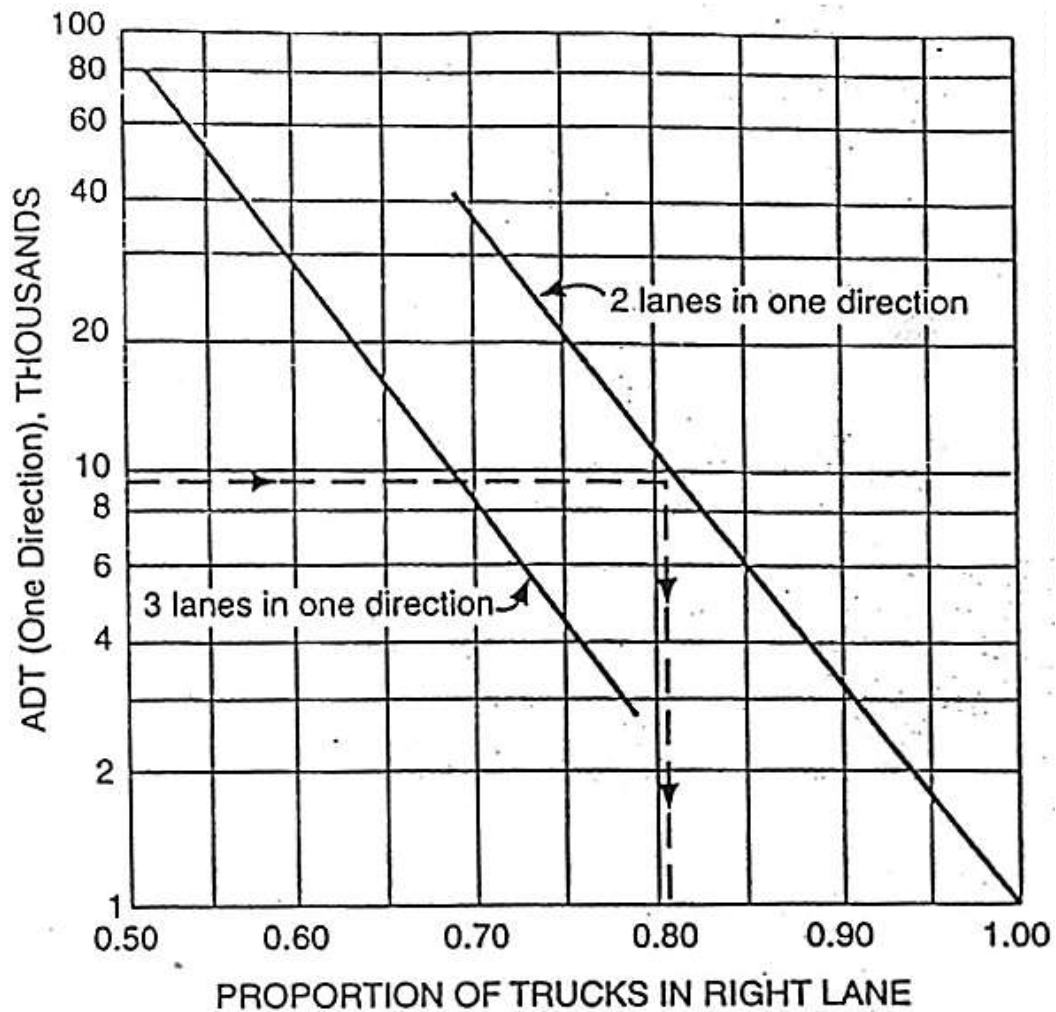
<i>Yearly rate of traffic growth (%)</i>	<i>Projection factor, 20 years</i>	<i>Projection factor, 40 years</i>
1	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Untuk perencanaan, projection factor ini dikalikan dengan ADT sekarang untuk mendapatkan ADT rencana yang mewakili nilai rata-rata selama umur rencana.

➤ ADTT

Lintas harian rata-rata truk pada kedua arah jalan diperlukan dalam prosedur perencanaan. Nilai ADTT hanya termasuk truk 6 roda atau lebih dan tidak termasuk truk pick-up atau kendaraan 4 roda yang lain.

Jumlah total truk selama umur rencana diperoleh dengan mengalikan ADTT (pada satu arah), proporsi truk pada lajur yang benar (ditentukan dengan menggunakan Gambar 2.15), dan jumlah hari selama umur rencana.



Gambar 2.15: Percentage of trucks in right lane of a multilane divided highway (Canadian, PCA).

➤ Faktor Keamanan Beban (*Load Safety Factor*)

Dalam perencanaan, nilai beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (*LSF*). Nilai *LSF* untuk berbagai kondisi disarankan.

- Untuk jalan antar provinsi dan jalan lain dimana volume lalu lintas truknya tinggi dan arusnya tidak terhenti, $LSF = 1,2$
- Untuk jalan raya dengan volume lalu lintas truk sedang, $LSF = 1,1$
- Untuk jalan biasa dan jalan lain dengan volume lalu lintas truk kecil $LSF = 1,0$

BAB 3

TEKNIK PERENCANAAN

3.1 Tinjauan Umum

Data lalu lintas adalah data utama yang diperlukan untuk perencanaan jalan, karena kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan menggunakan jalan pada suatu ruas jalan yang direncanakan. Besarnya volume lalu lintas sangat diperlukan untuk menentukan jumlah lebar lajur pada satu jalur jalan dalam penentuan karakteristik geometrik, sedangkan jenis kendaraan diperlukan untuk menentukan kelas beban atau MST (muatan sumbu terberat) yang berpengaruh langsung dalam merencanakan konstruksi perkerasan.

Pengumpulan data yang digunakan adalah pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data sekunder diperoleh dari konsultan perencana dan dinas-dinas yang terkait, studi kepustakaan, dan peraturan-peraturan yang ditetapkan.

Berikut ini adalah data-data perencanaan yang didapat dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional II. Pelaksanaan Jalan Nasional Metropolitan Medan, PPK 17 (Metropolitan Medan Timur Cs) untuk menentukan tebal slab sebagai berikut:

- Sumber data beban = Hasil survey *FWD*
- Umur rencana = 20 tahun (2016-2036)
- Jenis perkerasan = Beton bertulang tanpa tulangan (BBTT)
- Lebar jalan = 8 m (1 jalur)
- Jumlah jalur = 4/2 D
- Faktor lajur (DL) = 0.80
- Faktor arah (DD) = 0.50
- *CBR* tanah dasar = 3,1 %
- *CBR base A* = 90 %
- Tebal *base A* = 15 cm
- Tebal *lean concrete* = 15 cm

- *CBR* efektif = 43 %
- Kuat lentur beton = 4,4 Mpa
- Kuat tekan beton (f_c) = 400 kg/cm² fs 45 kg/cm²
- Kuat tekan lapis pondasi (f_c) = 150 psi
- Jenis dan tebal lapis pondasi = *Flowable Fill (Mortar Base)* D= 10-20 cm
- Faktor keamanan beban F_{KB} = 1.10
- Bahu jalan = Ya (*Granular* dipadatkan)

Dalam tugas akhir ini di gunakan tiga metode perkerasan untuk menentukan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*). Adapun tiga metode perencanaan perkerasan kaku tersebut yaitu: Metode Bina Marga (2003), AASHTO (1993), dan PCA. Tahapan yang di lakukan pada perencanaan ini ialah dengan mengumpulkan beberapa data yang di perlukan untuk merencanakan tebal perkerasan pada jalan tersebut yang diantaranya:

- Data LHR
- Data *CBR* tanah dasar
- Data pertumbuhan lalu-lintas
- Data beban as kendaraan
- Data umur rencana

1.1 3.2 Lalu Lintas

Survey lalu lintas untuk mengetahui beban lalu lintas kendaraan dan jumlah total volume lalu lintas di sekitar lokasi perencanaan sebagai dasar untuk memperkirakan dan merencanakan beban yang akan melalui jalan tersebut.

3.2.1 Beban As dan Faktor Kerusakan Kendaraan

Pada umumnya lokasi jalan SM.Raja tersebut terletak di daerah datar (*flat*), dan secara geologis tanah di route tersebut terdiri dari tanah lempung bercampur sedikit pasir. Hal tersebut sangat berpengaruh untuk mengetahui beban as kendaraan yang akan melewati jalan tersebut nantinya, serta dapat mengetahui faktor kerusakan yang diakibatkan kendaraan yang melintas. Faktor kerusakan dalam perencanaan sangat berpengaruh penting untuk perencanaan suatu

perkerasan jalan. Angka ekivalen beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal/ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8.16 Ton (18000 lb).

- Sumbu Tunggal = [beban sumbu tunggal (kg) / 8160]⁴
- Sumbu Ganda = 0.086 [beban sumbu ganda (kg) / 8160]⁴

Cara menghitung konfigurasi beban as masing-masing jenis kendaraan beserta angka ekivalen kendaraan dalam keadaan kosong (*min*) dan dalam keadaan bermuatan (*max*) yang akan dijadikan parameter dalam perencanaan jalan SM.Raja ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Distribusi beban as kendaraan (*WIM*).

Konfigurasi sumbu dan tipe	Berat kosong (ton)	Beban muatan maksimum (ton)	Berat total maksimum (ton)	UE 18 KSAL kosong	UE 18 KSAL maksimum
1.1 HP	1.5	0.5	2.0	0.0001	0.0004
1.2 BUS	3	6	9	0.0037	0.3006
1.2L TRUK	2.3	6	8.3	0.0013	0.2147
1.2H TRUK	4.2	14	18.2	0.0143	5.0264
1.22 TRUK	5	20	25	0.0044	2.7416
1.2+2.2 TRAILER	6.4	25	31.4	0.0085	4.9283
1.2-2 TRAILER	6.2	20	26.2	0.0192	6.1179
1.2-22 TRAILER	10	32	42	0.0327	10.183

3.2.2 Nilai *Vehicle Damage Factor (VDF)*

Sesuai dengan kondisi di Indonesia yang sering dipakai untuk menentukan Nilai *VDF* adalah berdasarkan Bina Marga dan *NAASRA*.

- Bina Marga MST-10

Mengacu pada buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen No. SNI 1732-1989-F dan Manual

Pemeriksaan Perkerasan Jalan Raya dengan alat *Benkelmean Beam* No. 01/MN/BM/83.

Nilai *VDF* berdasarkan jenis dan golongan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Nilai *VDF* berdasarkan Bina Marga (*WIM*).

Jenis kendaraan	Golongan kendaraan	Nilai <i>VDF</i>
Sedan	Gol. 2	0.0147
Mini Bus	Gol. 3	
Pick Up	Gol. 4	
Bus Kecil	Gol. 5A	0.0149
Bus Besar	Gol. 5B	0.2555
Truk 2 sumbu kecil	Gol. 6A	1.3818
Truk 2 sumbu besar	Gol. 6B	4.5223
Truk 3 sumbu	Gol. 7A2	6.1988
Truk 3 sumbu	Gol. 7A1	5.0763
Truk 4 sumbu	Gol. 7C1	10.3525
Truk 5 sumbu triple	Gol. 7C2B	13.1533
Truk 5 sumbu tandem	Gol. 7C2A	20.0974
Truk 6 sumbu	Gol. 7C3	24.3490

3.2.3 Volume Lalu Lintas

Pada perencanaan ini dibutuhkan *analysis traffic* yang berguna untuk menentukan pembagian ruas jalan sesuai kebutuhan pada lokasi perencanaan. Hasil *analysis traffic* yang dilakukan oleh PBC Metro Medan menunjukkan bahwa ruas jalan yang sesuai dengan kebutuhan jalan tersebut dibagi menjadi 2 (dua) *segmen* yaitu:

- a. Arah Lubuk Pakam (segmen 1)
- b. Arah Medan (segmen 2)

Besaran volume lalu lintas dari hasil *analysis traffic* oleh PBC Metro Medan untuk masing-masing segmen pada ruas jalan tersebut adalah dalam bentuk jenis kendaraan (Tabel 3.4).

3.2.4 Prediksi Pertumbuhan Lalu Lintas

Dalam perencanaan perkerasan jalan bebas hambatan ini juga merencanakan Serta memprediksi pertumbuhan lalu lintas. Prediksi pertumbuhan lalu lintas direncanakan dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2036, dimana dalam prediksi ini berguna untuk menghemat biaya perawatan yang akan terjadi setelah jalan dapat dilewati (Tabel 3.3).

Tabel 3.3: Prediksi pertumbuhan lalu-lintas (*WIM*).

Prediksi tahun s/d tahun	% per tahun
2016 – 2019	5%
2020 – 2036	4%

Tabel 3.4: Volume lalu lintas (kend/hari) pada tahun 2016 (WIM).

	LHRT JENIS KENDARAAAN												
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C	
Arah L.Pakam													
Lajur-1	15091	2316	849	586	85	123	178	480	26	175	0	189	
Lajur-2	3093	6916	960	1183	78	158	308	1699	4	1041	0	155	
Arah Medan													
Lajur-2	2832	6739	866	972	102	136	173	1495	4	1000	0	150	
Lajur-1	14501	2650	1060	483	99	92	101	352	1	168	0	17	
Total 2	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C	
Arah	35518	18621	3734	3224	365	508	760	4026	36	2384	0	510	

Keterangan:

1. Sepeda kumbang, Sepeda motor, Roda 3
 - 7A1. Truk 3 sumbu tunggal
2. Sedan, Jeep, Station wagon
 - 7A2. Truk 3 sumbu tandem
3. Oplet, Pick-Up Oplet, Mini bus, Combi
 - 7b. Truk gandengan
4. Pick-Up, Mikro truk, Mobil hantaran
 - 7C1. Truk 4 sumbu
- 5a. Bus kecil
 - 7C2a. Truk 5 sumbu tandem
- 5b. Bus besar
 - 7C2b. Truk 5 sumbu triple
- 6a. Truk ringan 2 sumbu
 - 7C3. Truk 6 sumbu
- 6b. Truk sedang 2 sumbu
8. Kendaraan tidak bermotor

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Perkerasan

Dalam merencanakan suatu perkerasan jalan raya dibutuhkan pengetahuan yang baik dalam merencanakannya, baik dalam segi material pengisi bahan-bahan tiap lapisan perkerasan dan juga proses pengerjaan struktur perkerasan jalan raya tersebut. Setiap orang dapat merencanakan perkerasan jalan raya dengan asumsi-asumsi sesuai keinginan, namun rancangan perkerasan tersebut belum tentu memberikan hasil yang diinginkan oleh perencana baik dari segi kesanggupan perkerasan dalam menahan beban kendaraan maupun ketahanan perkerasan dari kerusakan (*failure*). Perkerasan jalan merupakan campuran antara material pengisi lapisan jalan dengan bahan pengikat sebagai perekat antar partikel material tersebut untuk membentuk suatu lapisan yang kokoh dalam mendukung beban yang ada diatas perkerasan tersebut.

4.1.1 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Metode Bina Marga (2003)

Perkerasan kaku menurut metode Bina Marga ini meliputi dari beberapa unsur-unsur yang sangat penting yang diantaranya, menentukan penilaian CBR tanah dasar terlebih dahulu, memperkirakan distribusi sumbu kendaraan niaga dan jenis/beban sumbu, tentukan atau pilih jenis pondasi bawah, menentukan CBR efektif, pilih menggunakan bahu beton atau tidak, menentukan faktor keamanan beban F_{KB} .

Dengan demikian maka di dapat hasil perhitungan tebal perencanaan perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) dengan menggunakan metode Bina Marga (2003) sebagai berikut:

A. Data-data perencanaan:

- Umur rencana = 20 tahun (2016-2036)
- CBR tanah dasar = 3,1 %
- CBR base A = 90 %
- Tebal base A = 15 cm

- CBR gabungan = 6,99 %

$$((LC \times \text{Tebal base A})^{1/3}) + ((0,85 \times \text{CBR tanah dasar})^{1/3})^3$$
- Tebal lean concrete = 15 cm
- CBR efektif = 43 %
- Kuat lentur beton = 4,4 Mpa
- Faktor keamanan beban F_{KB} = 1.10
- Bahu jalan = Ya (Granular dipadatkan)
- Pertumbuhan lalu lintas = 2016 – 2019 = 5 % (Tabel 3.3)
 2020 – 2036 = 4 %

Maka di dapat hasil pertumbuhan lalu lintas selama 20 tahun (R) = 25.311 %

$$(R = \frac{((1+4\%)^{20}) - 1}{4\%} \times \frac{((2036-2020)+1)}{20})$$

- Faktor distribusi c = 0.8

Hasil ketebalan tertipis akan menjadi ketebalan yang di pakai. Namun harus ketebalan yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan erosi harus ≤ 100 %. Tebal tersebut nantinya akan menjadi tebal perkerasan kaku yang direncanakan.

B. Data Lalu Lintas (*Traffic*) Batas Segmen Medan-Lubuk Pakam

Lihat Tabel 4.1.

C. Analisa Lalu-Lintas

Lihat Tabel 4.2.

D. Perhitungan Repetisi Sumbu yang Terjadi

Lihat Tabel 4.3.

E. Perhitungan Tebal Pelat Beton

Lihat Tabel 4.4.

Sumber data beban:	Hasil <i>survey FWD</i>
Jenis perkerasan:	Beton bertulang tanpa tulangan (BBTT)
Jenis bahu:	<i>Granular</i> dipadatkan
Umur rencana:	20 tahun
JSK:	21,610,377
Faktor keamanan beban:	1.10

Kuat tekan beton (f_c) umur 26 hari:	400 kg/cm^2 $f_s 45 \text{ kg/cm}^2$
Kuat tarik lentur beton (f_c) umur 28 hari:	4.4 Mpa
Jenis dan tebal lapis pondasi:	<i>Flowable Fill (Mortar Base)</i> Tebal 10-20 cm
Kuat tekan lapis pondasi (f_c) umur 28 hari:	150 psi
<i>CBR</i> tanah dasar:	3.1 %
<i>CBR</i> efektif:	43%
Tebal taksiran pelat beton:	30 cm (Asumsi)

F. Kontrol Analisa Fatik dan Erosi

Lihat Tabel 4.5.

Tabel 4.1: Data lalu-lintas berdasarkan pertumbuhan lalu-lintas (*WIM*).

Jenis kendaraan	Golongan Kendaraan	Jumlah Sb	Traffic	Tahun 2016	Tahun 2021	Tahun 2026	Tahun 2031	Tahun 2036
Mobil penumpang	2, 3, 4	2	25579	13429	17139	20852	25370	30867
Bus ringan 1.2	5A	2	365	192	245	298	362	440
Bus besar 1.2	5B	2	508	267	340	414	504	613
Truk ringan 1.2	6A	2	760	399	509	620	754	917
Truk berat 1.2	6B	2	4026	2114	2698	3282	3993	4858
Truk tandem 1.22	7A2	2	2384	1252	1597	1943	2365	2877
Truk gandengan 1.2-2	7A1	3	36	19	24	29	36	43
Truk trailer 1.2-22	7C1	3	510	268	342	416	506	615
Truk trailer 1.22-22	7C2a	3	58	30	39	47	58	70
Truk trailer 1.2-222	7C2b	3	102	54	68	83	101	123
Truk trailer 1.22-222	7C3	3	240	126	161	196	238	290

Tabel 4.2: Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya (*WIM*).

Jenis kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (Ton)						Jumlah kendaraan (bh)	Jumlah sumbu / kendaraan	Jumlah sumbu	STRT		STRG		STdRG		STrRG	
	RD	RB	RGD	RGB	RGD	RGB				BS	JS	BS	JS	BS	JS	BS	JS
1	2						3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mobil penumpang	1.26	1.32					30867	2	61733	1.26 1.32	30867 30867						
Bus ringan 1.2	1.37	2.44					440	2	881	1.37	440	2.44	440				
Bus besar 1.2	3.55	4.06					613	2	1226	3.55	613	4.06	613				
Truk ringan 1.2	3.56	6.69					917	2	1834	3.56	917	6.69	917				
Truk berat 1.2	4.57	9.22					4858	2	9716	4.57	4858	9.22	4858				
Truk tandem 1.22	4.11	7.98	8.03				2877	2	5754	4.11	2877	0.00	0.00	16.02	2877		
Truk gandengan 1.2-2	4.14	7.63	8.54				43	3	130	4.14	43	7.63 8.54	43 43				
Truk trailer 1.2-22	4.67	9.40	7.59	7.67			615	3	1846	4.67	615	9.40	615	15.26	615		
Truk trailer 1.22-22	4.02	9.95	9.73	9.682	9.79		70	3	210	4.02	70	0.00	0.00	19.67 19.47	70 70		
Truk trailer 1.2-222	5.03	11.07	8.51	8.92	9.02		123	3	369	5.03	123	11.07	123			26.45	123
Truk trailer 1.22-222	5.28	11.99	11.89	10.08	10.15	10.14	290	3	869	5.28	290			23.87	290	30.37	290
Jumlah							41714		84569	72580			7214	3922		413	

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JKSN) selama umur rencana 20 tahun

- JKSN = 365 x JSKNH x R x c = 30,86777 10⁶
- JKSN rencana = 21,607,438 10⁶

Tabel 4.3: Perhitungan repetisi sumbu rencana.

Jenis sumbu	Beban sumbu (Ton)	Jumlah sumbu	Proporsi beban	Proporsi sumbu	Lalu-lintas rencana	Repetisi yang terjadi (7) = (4)*(5)*(6)
1	2	3	4	5	6	7
STRT	5.28	290	0.004	0.859	21,607,438	74,243
	5.03	123	0.002	0.859	21,607,438	37,122
	4.67	615	0.008	0.859	21,607,438	148,486
	4.57	4858	0.067	0.859	21,607,438	1,243,573
	4.14	43	0.001	0.859	21,607,438	18,561
	4.11	2877	0.040	0.859	21,607,438	742,432
	4.02	70	0.001	0.859	21,607,438	18,561
	3.56	917	0.013	0.859	21,607,438	241,290
	3.55	613	0.008	0.859	21,607,438	148,486
	1.37	440	0.006	0.859	21,607,438	111,365
	1.32	30867	0.425	0.859	21,607,438	7,888,336
	1.26	30867	0.425	0.859	21,607,438	7,888,336
	TOTAL		72580	1.00		
STRG	11.07	123	0.016	0.090	21,607,438	31,115
	9.40	615	0.081	0.090	21,607,438	157,518
	9.22	4858	0.638	0.090	21,607,438	1,240,699
	7.63	43	0.006	0.090	21,607,438	11,668
	6.69	917	0.121	0.090	21,607,438	235,305
	4.06	613	0.081	0.090	21,607,438	157,518
	2.44	440	0.058	0.090	21,607,438	112,791
TOTAL		7611	1.00			

Tabel 4.3: *Lanjutan.*

Jenis sumbu	Beban sumbu (Ton)	Jumlah sumbu	Proporsi beban	Proporsi sumbu	Lalu-lintas rencana	Repetisi yang terjadi (7) = (4)*(5)*(6)
1	2	3	4	5	6	7
STdRG	23.87	290	0.074	0.046	21,607,438	73,552
	19.67	70	0.018	0.046	21,607,438	17,891
	19.47	70	0.018	0.046	21,607,438	17,891
	16.02	2877	0.734	0.046	21,607,438	729,554
	15.26	615	0.157	0.046	21,607,438	156,049
TOTAL		3922	1.00			
STrRG	30.37	290	0.702	0.005	21,607,438	75,842
	26.45	123	0.298	0.005	21,607,438	32,195
TOTAL		413	1.00			
GRAND TOTAL (Komulatif)		84526	1.00			21,610,377 (2.16 x 10 ⁷)

Tabel 4.4: Tegangan ekuivalen dan faktor erosi untuk perkerasan dengan bahu beton.

Tebal <i>Slab</i> (mm)	CBR Efektif Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji / Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
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	1.30	1.91	2.10	2.24
300	15	0.47	0.78	0.70	0.53	1.53	2.14	2.33	2.40	1.29	1.89	2.07	2.20
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	2.10	2.25	2.30	1.25	1.85	1.99	2.09
300	43	0.455	0.714	0.619	0.474	1.485	2.089	2.223	2.268	1.239	1.839	1.969	2.058
300	50	0.45	0.70	0.60	0.46	1.48	2.08	2.20	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	1.90	1.95

Tabel 4.5: Analisa fatik dan erosi.

Jenis sumbu	Beban sumbu (ton)	Beban sumbu (kN)	F _{KB} (Tabel 2.3)	Beban rencana per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor tegangan dan erosi			Analisa fatik		Analisa erosi	
						TE	FRT	FE	Repetisi ijin	Persen rusak (%)	Repetisi ijin	Persen rusak (%)
(1)	(2)	(2a)	(2b)	(3)	(4)	(5a)	(5b)	(5c)	(6)	(7)=(4)x100/(6)	(8)	(9)=(4)x100/(8)
STRT	5.28	51.81	1.10	28	74243	0.455	0.103	1.239	TT	0.007	TT	0.001
	5.03	49.33	1.10	27	37122	0.455	0.103	1.239	TT	0.004	TT	0.000
	4.67	45.79	1.10	25	148486	0.455	0.103	1.239	TT	0.015	TT	0.001
	4.57	44.83	1.10	25	1243573	0.455	0.103	1.239	TT	0.124	TT	0.012
	4.14	40.63	1.10	22	18561	0.455	0.103	1.239	TT	0.002	TT	0.000
	4.11	40.30	1.10	22	742432	0.455	0.103	1.239	TT	0.074	TT	0.007
	4.02	39.43	1.10	22	18561	0.455	0.103	1.239	TT	0.002	TT	0.000
	3.56	34.89	1.10	19	241290	0.455	0.103	1.239	TT	0.024	TT	0.002
	3.55	34.81	1.10	19	148486	0.455	0.103	1.239	TT	0.015	TT	0.001
	1.37	13.40	1.10	7	111365	0.455	0.103	1.239	TT	0.011	TT	0.001
	1.32	12.96	1.10	7	7888336	0.455	0.103	1.239	TT	0.789	TT	0.079
	1.26	12.34	1.10	7	7888336	0.455	0.103	1.239	TT	0.789	TT	0.079
										TT		TT
1.2	11.07	108.58	1.10	60	31115	0.714	0.161	1.839	TT	0.311	TT	0.889
	9.40	92.19	1.10	51	157518	0.714	0.161	1.839	TT	1.575	TT	4.501
	9.22	90.44	1.10	50	1240699	0.714	0.161	1.839	TT	12.407	TT	35.449
1.3	7.63	74.81	1.10	41	11668	0.714	0.161	1.839	TT	0.117	TT	0.333
	6.69	65.63	1.10	36	235305	0.714	0.161	1.839	TT	2.353	TT	6.723
	4.06	39.81	1.10	22	157518	0.714	0.161	1.839	TT	1.575	TT	4.501
	2.44	23.96	1.10	13	112791	0.714	0.161	1.839	TT	1.128	TT	3.223

Tabel 4.5: Lanjutan.

Jenis sumbu	Beban sumbu (ton)	Beban sumbu (kN)	F _{KB} (Tabel 2.3)	Beban rencana per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor tegangan dan erosi			Analisa fatik		Analisa erosi	
						TE	FRT	FE	Repetisi ijin	Persen rusak (%)	Repetisi ijin	Persen rusak (%)
(1)	(2)	(2a)	(2b)	(3)	(4)	(5a)	(5b)	(5c)	(6)	(7)=(4)x100/(6)	(8)	(9)=(4)x100/(8)
STdRG	23.87	234.10	1.10	64	73552	0.619	0.153	1.969	TT	0.817	TT	1.471
	19.67	192.90	1.10	53	17891	0.619	0.153	1.969	TT	0.199	TT	0.358
	19.47	190.94	1.10	53	17891	0.619	0.153	1.969	TT	0.199	TT	0.358
	16.02	157.05	1.10	43	729554	0.619	0.153	1.969	TT	8.106	TT	14.591
	15.26	149.64	1.10	41	156049	0.619	0.153	1.969	TT	1.734	TT	3.121
STrRG	30.37	297.79	1.10	55	75842	0.474	0.118	2.058	TT	0.008	TT	12.640
	26.45	259.39	1.10	48	32195	0.474	0.118	2.058	TT	0.003	TT	5.366
TOTAL										32.388 OK		93.707 OK

4.1.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Metode AASHTO (1993)

Pada perencanaan perkerasan kaku sangat di butuhkan ketelitian dalam pengumpulan data maupun menentukan parameter sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Data-data di dapatkan dari hasil pengujian dilapangan yang kemudian dikembangkan di laboratorium. Dari hasil survey data *CBR* yang di dapat dari hasil uji *DCP* dan *CBR* yang dikorelasikan dari pengujian sondir yang diambil dari laporan penyelidikan tanah sepanjang ruas jalan Sisingamangaraja. Parameter desain perkerasan kaku menurut AASHTO (1993), yaitu menyangkut masalah *Modulus Resilient (MR)* tanah dasar rencana = 4000 psi, yang diperoleh dari nilai *CBR* tanah dasar = 3.1 %. Dan parameter lainnya dapat langsung dilihat pada formula perhitungan perkerasan kaku di bawah ini. Dalam perhitungan ESAL 18- kip metode perkerasan kaku AASHTO (1993) telah mengakomodasikan sumbu tridem (3 sumbu).

Data-data yang diketahui:

- Lebar jalan = 8 m (1 jalur)
- Jumlah jalur = 2/2 UD
- Umur rencana = 20 tahun
- Faktor lajur (DL) = 0.80
- Faktor arah (DD) = 0.50

Menentukan nilai ekivalen W_{18} , dengan Pers. 2.10.

$$W_{18} = \sum_{N_1}^{N_n} LH R_j \times VD F_j \times D_{Dj} \times D_L \times 365$$

Tabel 4.7: *VDF* untuk jenis kendaraan J.

Jenis kendaraan	VDFJ	W_{18}
Mobil penumpang	0.0147	666,301.19
Bus ringan 1.2	0.0149	138,540.41
Bus besar 1.2	0.2555	1,794,683.26
Truk ringan 1.2	1.3818	1,340,834.45
Truk berat 1.2	4.5223	4,977,693.26
Truk tandem 1.22	6.1988	8,199,589.33
Bus tandem 1.22	5.0763	45,263,495.55
Truk gandengan 1.2-2	10.3525	249,890.16
Truk trailer 1.2-2.2	13.1533	74,167,131.54
Truk trailer 1.2-22	20.0974	16,202,807.11

Tabel 4.7: Lanjutan.

Jenis kendaraan	VDFJ	W ₁₈
Truk trailer 1.22-2	24.3490	2,350,958.92
Truk trailer 1.2-222	0.0000	0.00
Truk trailer1.22-22	0.0000	0.00
Truk trailer1.22-222	0.0000	0.00
Kumulatif w ₁₈		155.351.925

Formula perhitungan perkerasan kaku di bawah ini. Dalam perhitungan *ESAL* 18-kip metode perkerasan kaku AASHTO (1993) Pers. 2.11.

$$\log_{10} x (W_{18}) = 8.191 \quad \text{dianggap A}$$

$$Z_R \times S_0 + 7.35 \times \log_{10} x (D+1) - 0.06 = 7.865 \quad \text{dianggap B}$$

$$\frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) = 3.245 \quad \text{dianggap C}$$

$$\log_{10} \frac{S_c' C_d x [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 x J x \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right]} = 0.132 \quad \text{dianggap D}$$

$$\text{Jumlah dari formula diatas ialah: } B + C \times D = 8.295 \quad \text{dianggap E}$$

$$W_{18} = 155.630 \times 10^6 \text{ ESA's}$$

$$R = 90 \% \quad Z_R = -1.282 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$S_0 = 0.35 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$D = 12.782 \text{ inchi} = 32.0 \text{ cm}$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

$$P_0 = 4.5 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$P_t = 2.5 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$S'c = 640 \text{ psi} = 45 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$C_d = 1.1 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$J = 2.80 \quad (\text{AASHTO, 1993})$$

$$K = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$f'c = 6401 \text{ psi}$
 $E_c = 4.30 \times 10^6 \text{ psi}$ (AASHTO, 1993)
 $CBR = 3.1 \%$
 $MR = 4000 \text{ psi}$
 $\text{Log } W_{18} = 8.191$

- Sehingga di dapat nilai $W_{18} = 197.188.983$
- Dan nilai $CESA$ (ekivalen) = 155.351.925

Karena nilai W_{18} lebih besar dari nilai $CESA$ maka dikatakan nilai tersebut sudah oke. Maka didapat nilai tebal perkerasan sebagai berikut:

- Tebal perkerasan kaku = 12.782 inchi = 32 cm
- Lantai kerja (LC) = 15 cm
- Base A = CBR 90 % = 15 cm
- Tanah dasar = CBR 3.1 %

4.1.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Metode PCA

Perkerasan kaku menurut metode *PCA* ini meliputi parameter dibawah ini yang sangat penting dan harus terlebih dahulu diketahui diantaranya jenis sambungan dan bahu jalan, kuat lentur beton (MR) pada umur 28 hari, nilai konstanta (k) subgrade atau kombinasi subgrade dan subbase, faktor keamanan beban (LSF), distribusi beban sumbu dan repetisi yang terjadi. Kemudian dilanjutkan dengan Fatigue analysis (untuk mengontrol retak "fatik") dan analisis erosi (untuk mengontrol erosi pondasi, bahu jalan, dan pipa).

Dengan demikian maka di dapat hasil perhitungan tebal perencanaan perkerasan kaku dengan menggunakan metode *PCA* sebagai berikut:

Calculation of Pavements Thickness

Project: 4 Lajur 2 Arah (150 mm *Cement-Treated Subbase*)
 1. *Trial thickness:* 290 mm (Asumsi)
 2. *Subbase-subgrade k:* 35 MPa/m (Gambar 2.14), (Interpolasi Tabel 2.15)
 3. *Modulus of rupture, MR:* 4.38 MPa (Pers. 2.12)
 4. *Load safety factor, LSF:* 1.2
 5. *Doweled joints:* yes
 6. *Concrete shoulder:* no

7. Design period: 20 years

Axel load, kN	Multiple by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Eroption analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue percent	Allowable repetitions	Damage percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress $\boxed{1.44}$ (Interpolasi dari Tabel 2.8a)

9. Stress ratio factor $\boxed{0.32}$ (Equivalent stress)
MR

10. Erosion factor $\boxed{2.61}$ (Interpolasi dari Tabel 2.9a)

Single Axles

133	160	6340	21000	30.0	1400000	0.5
125	150	14690	55000	26.7	2000000	0.7
115	138	30140	200000	15.0	3000000	1.0
107	128	64410	900000	7.1	5100000	1.3
98	118	106900	<i>UNLIMITED</i>	0	9200000	1.2
89	107	235800			20000000	1.2
80	96	307200			50000000	0.6

11. Equivalent stress $\boxed{1.35}$ (Interpolasi dari Tabel 2.8a)

12. Stress ratio factor $\boxed{0.30}$ (Equivalent stress)
MR

13. Erosion factor $\boxed{2.80}$ (Interpolasi dari Tabel 2.9a)

Tandem Axles

231	277	21320	900000	2.4	910000	0.2
213	256	42870	6000000	0.7	1500000	2.8
195	234	124900	<i>UNLIMITED</i>	0	2400000	5.2
178	214	372900			4000000	9.3
160	192	885800			7600000	11.6
142	160	930700			35000000	2.6
125	150	1656000			<i>UNLIMITED</i>	0

14. Equivalent stress $\boxed{1.02}$ (Interpolasi dari Tabel 2.11)

15. *Stress ratio factor* $\boxed{0.227}$ (Equivalent stress)
MR

16. *Erosion factor* $\boxed{2.90}$ (Interpolasi dari Tabel 2.12)

<i>Axel load, kN</i>	<i>Multiple by LSF</i>	<i>Expected repetitions</i>	<i>Fatigue analysis</i>		<i>Erosion analysis</i>	
			<i>Allowable repetitions</i>	<i>Fatigue percent</i>	<i>Allowable repetitions</i>	<i>Damage percent</i>
1	2	3	4	5	6	7

Tridem Axles

240	96	250000	UNLIMITED	-	3900000	6.4
			TOTAL	81.9	TOTAL	44.6

Keterangan:

$$(8) \text{ Interpolasi } \textit{Equivalent stress}: \frac{35 - 20}{40 - 20} = \frac{Eq - 1,58}{1,39 - 1,58}$$

$$\frac{15}{20} = \frac{Eq - 1,58}{-0,19}$$

$$Eq = 1,44$$

Nilai *Axel load* didapat dari (LHR Truk)

Nilai *Multiple by LSF* didapat dari (*Axel load* x *LSF*)

Nilai *Expected repetitions* didapat dari (Repetisi yang terjadi dibeban sumbu tertinggi/ Repetisi yang terjadi dibeban sumbu terendah)

Nilai *Fatigue analysis* didapat dari (4) *Allowable repetitions* (Gambar 2.10) Nomogram 4

Nilai *Fatigue analysis* didapat dari (5) *Fatigue percent*
 $\frac{(\textit{Expected repetitions} \times 100)}{(\textit{Allowable repetitions})}$

Nilai *Erosion analysis* didapat dari (6) *Allowable repetitions* (Gambar 2.11) Nomogram 5

Nilai *Erosion analysis* didapat dari (7) *Damage percent*
 $\frac{(\textit{Expected repetitions} \times 100)}{(\textit{Allowable repetitions})}$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis yang menggunakan beberapa metode perencanaan perkerasan kaku untuk jalan raya dapat disimpulkan bahwa:
 - Pada perencanaan perkerasan kaku Metode Bina Marga (2003) di dapat tebal pelat beton perkerasan jalan, yaitu:
 - Tebal perkerasan kaku 30 cm, disesuaikan dengan perhitungan tebal perkerasan Bina Marga (2003).
 - Tebal *lean concrete* 15 cm, dan tebal base A 15 cm.
 - Dengan metode AASHTO (1993) di dapat tebal pelat beton perkerasan jalan, yaitu:
 - Tebal perkerasan kaku 32 cm, disesuaikan dengan perhitungan tebal perkerasan AASHTO (1993).
 - Tebal *lean concrete* 15 cm, dan tebal base A 15 cm.
 - Dengan metode PCA di dapat tebal pelat beton perkerasan jalan, yaitu:
 7. Tebal perkerasan kaku 29 cm, disesuaikan dengan perhitungan tebal perkerasan PCA.
 8. Tebal *subbase* 15 cm.
2. Dari hasil perhitungan tebal pelat beton yang menggunakan beberapa metode, terdapat perbedaan dalam mendapatkan hasil akhir perhitungan ketebalan plat beton. Hal ini disebabkan adanya pengambilan besaran yang tidak sama, misalnya dalam metode Bina Marga tebal perkerasan kaku atau tebal perkerasan beton semen memperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan fatik dan atau erosi ≤ 100 %. Metode AASHTO tebal perkerasan kaku di dapat dari perhitungan dengan kontrol nilai W_{18} (beban gandar) harus lebih besar dari nilai *CESA (Cumulative Equivalent Standart Axle)*. Perencanaan perkerasan metode AASHTO didapati bahwa tebal pelat perkerasan akan bertambah sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas ekivalen selama umur rencana, sebaliknya tebal pelat akan berkurang dengan

pengurangan volume lalu lintas ekivalen. Demikian pula dalam metode PCA, perhitungan didapat hampir sama dengan metode Bina Marga, akan tetapi dalam menentukan LHR kendaraan hanya menghitung beban sumbu truk saja. Sehingga didapat bahwa metode Bina Marga merupakan metode yang lebih efisien dan ekonomis untuk digunakan dalam melakukan perencanaan perkerasan jalan karena perhitungan yang dibuat sudah sesuai atau mendekati dengan kondisi regional Indonesia.

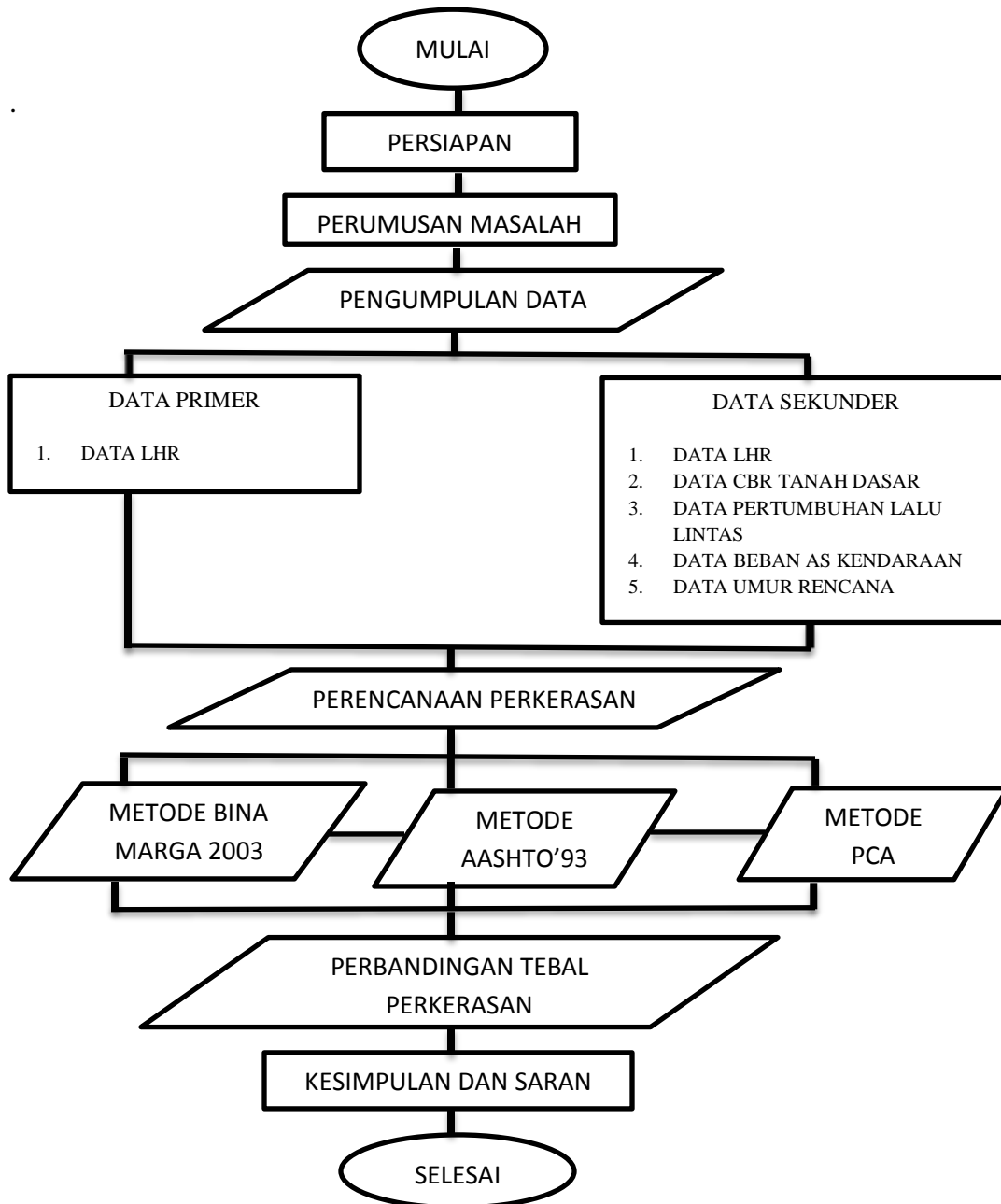
5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Metode-metode praktis yang telah dilaksanakan di lapangan, sebaiknya tetap mengacu pada standar yang telah ditetapkan untuk menghindari kegagalan teknis.
2. Pembangunan perkerasan kaku pada ruas jalan Sisingamangaraja ini sangatlah berperan penting dalam memajukan perekonomian masyarakat, terlebih masyarakat yang bergantung pada sistem transportasi. Maka hendaknya dapat dikelola dengan sebaiknya, baik pada saat perencanaan, pelaksanaan pembangunan maupun perawatan nantinya.
3. Untuk mendapatkan tebal perkerasan yang optimum lebih baik melakukan penyelidikan nilai *CBR* tanah sehingga nantinya nilai *CBR* tanah yang efektif dapat tercapai untuk menentukan tebal perkerasan.
4. Dalam perancangan dan pelaksanaan suatu bangunan teknik sipil, kemungkinan besar akan ditemui berbagai permasalahan yang kompleks yang berbeda antara kondisi yang satu dan lainnya, sehingga seorang perancang, diharapkan memiliki "*feeling engineering*" yang didukung oleh pengetahuan yang luas, dan pengalaman yang didapatkan di lapangan.

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan perencanaan dapat disajikan secara sistematis dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir (*flowchart*) perencanaan perkerasan jalan.

Tabel L.1: Rekapitulasi survey lalu lintas (LHRT per Lajur 1).

DURASI SURVEY	ARAH MEDAN															
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C1	7C2A	7C2B	7C3	8
SENIN	14166	2839	1284	567	31	101	120	511	1	149	-	19	4	3	3	27
SELASA	13044	2757	1172	526	480	24	82	156	0	144	-	20	2	1	10	24
RABU	13379	2281	1041	447	39	102	159	435	2	197	-	26	4	2	10	19
KAMIS	14201	2733	1127	469	36	96	115	429	2	220	-	22	4	1	3	22
JUMAT	14580	2663	1054	582	33	105	99	435	1	184	-	22	8	2	5	39
SABTU	17902	2631	913	480	40	94	101	386	3	213	-	9	4	0	5	38
MINGGU	13019	2420	738	268	25	113	23	83	1	55	-	1	0	1	4	68
RATA2	14,327	2,618	1,047	477	98	91	100	348	1	166	-	17	4	1	6	34
Total LAJUR L1	14,327	2,618	1,047	477	98	91	100	348	1	166	-	17	4	1	6	34

Type Kendaraan:

1. Sepeda kumbang, Sepeda Motor, Roda 3
2. Sedan, Jeep, Station wagon
3. Oplet, Pick-up Oplet, Mini Bus, Combi
4. Pick-Up, Mikro truk, Mobil Hantaran
- 5a. Bus Kecil

- 5b. Bus Besar
- 6a. Truck Ringan 2 Sumbu
- 6b. Truck Sedang 2 Sumbu
- 7a1. Truck 3 Sumbu tunggal
- 7a2. Truck 3 Sumbu tandem

- 7b. Truck Gandengan
- 7c1. Truck 4 sumbu
- 7c2a. Truck 5 sumbu tandem
- 7c2b. Truck 5 sumbu triple
- 7c3. Truck 6 sumbu

8. Kendaraan tidak bermotor

Tabel L.2: Rekapitulasi survey lalu lintas (LHRT per Lajur 2).

DURASI SURVEY	ARAH MEDAN															
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C1	7C2A	7C2B	7C3	8
SENIN	3544	6683	1025	1176	39	138	221	2047	4	1168	-	163	15	44	109	0
SELASA	2489	6526	930	1013	30	126	188	1632	0	1127	-	203	28	25	110	0
RABU	2706	5320	707	1034	436	106	192	1643	5	1117	-	166	17	39	114	30
KAMIS	2026	5546	795	930	42	105	153	1383	9	1060	-	172	19	35	124	12
JUMAT	2855	6463	792	1064	48	145	176	1704	7	1137	-	161	12	21	80	1
SABTU	3416	7706	855	894	65	180	186	1388	3	921	-	136	9	21	73	4
MINGGU	2552	8364	883	612	47	139	78	540	1	383	-	34	8	13	42	2
RATA2	2,798	6,658	855	960	101	134	171	1,477	4	988	-	148	15	28	93	7
Total LAJUR L2	2,798	6,658	855	960	101	134	171	1,477	4	988	-	148	15	28	93	7

Type Kendaraan:

1. Sepeda kumbang, Sepeda Motor, Roda 3
2. Sedan, Jeep, Station wagon
3. Oplet, Pick-up Oplet, Mini Bus, Combi
4. Pick-Up, Mikro truk, Mobil Hantaran
- 5a. Bus Kecil

- 5b. Bus Besar
- 6a. Truck Ringan 2 Sumbu
- 6b. Truck Sedang 2 Sumbu
- 7a1. Truck 3 Sumbu tunggal
- 7a2. Truck 3 Sumbu tandem

- 7b. Truck Gandengan
- 7c1. Truck 4 sumbu
- 7c2a. Truck 5 sumbu tandem
- 7c2b. Truck 5 sumbu triple
- 7c3. Truck 6 sumbu

8. Kendaraan tidak bermotor

Tabel L.3: Rekapitulasi survey lalu lintas (LHRT per Lajur, R2).

DURASI SURVEY	ARAH LUBUK PAKAM															
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C1	7C2A	7C2B	7C3	8
SENIN	3542	6191	930	1366	123	187	310	2192	6	1156	-	154	35	33	113	3
SELASA	3280	6295	898	1261	74	151	334	2117	4	1166	-	200	16	44	115	0
RABU	2722	6644	1005	1281	69	134	387	2190	1	1234	-	193	9	46	103	0
KAMIS	2026	5546	795	930	42	105	153	1383	9	1060	-	172	19	35	124	12
JUMAT	2800	6357	923	1217	63	115	419	1786	8	1115	-	180	21	38	110	0
SABTU	3724	7646	993	1207	78	187	369	1352	0	875	-	122	15	29	66	0
MINGGU	3298	9150	1092	917	93	212	158	731	1	596	-	51	3	4	40	0
RATA2	3,056	6,833	948	1,168	77	156	304	1,679	4	1,029	-	153	17	33	96	2
Total LAJUR R2	3,056	6,833	948	1,168	77	156	304	1,679	4	1,029	-	153	17	33	96	2

Type Kendaraan:

1. Sepeda kumbang, Sepeda Motor, Roda 3
2. Sedan, Jeep, Station wagon
3. Oplet, Pick-up Oplet, Mini Bus, Combi
4. Pick-Up, Mikro truk, Mobil Hantaran
- 5a. Bus Kecil

- 5b. Bus Besar
- 6a. Truck Ringan 2 Sumbu
- 6b. Truck Sedang 2 Sumbu
- 7a1. Truck 3 Sumbu tunggal
- 7a2. Truck 3 Sumbu tandem

- 7b. Truck Gandengan
- 7c1. Truck 4 sumbu
- 7c2a. Truck 5 sumbu tandem
- 7c2b. Truck 5 sumbu triple
- 7c3. Truck 6 sumbu

8. Kendaraan tidak bermotor

Tabel L.4: Rekapitulasi survey lalu lintas (LHRT per Lajur, R1).

DURASI SURVEY	ARAH LUBUK PAKAM															
	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7A1	7A2	7b	7C1	7C2A	7C2B	7C3	8
SENIN	15456	2798	1152	676	143	160	343	713	37	194	-	359	50	70	61	12
SELASA	13729	2525	853	737	206	188	250	492	29	172	-	249	13	31	29	35
RABU	11907	2255	762	791	92	160	214	485	9	181	-	261	13	21	30	21
KAMIS	14201	2733	1127	469	36	96	115	429	2	220	-	22	4	1	3	22
JUMAT	15486	1874	717	566	32	69	135	544	34	181	-	159	15	59	62	15
SABTU	18720	2112	646	477	46	84	133	428	36	166	-	132	19	31	49	15
MINGGU	14873	1722	618	339	33	92	44	227	32	96	-	122	32	55	60	30
RATA2	14,910	2,288	839	579	84	121	176	474	26	173	-	186	21	38	42	21
Total LAJUR R1	14,910	2,288	839	579	84	121	176	474	26	173	-	186	21	38	42	21

Type Kendaraan:

1. Sepeda kumbang, Sepeda Motor, Roda 3
2. Sedan, Jeep, Station wagon
3. Oplet, Pick-up Oplet, Mini Bus, Combi
4. Pick-Up, Mikro truk, Mobil Hantaran
- 5a. Bus Kecil

- 5b. Bus Besar
- 6a. Truck Ringan 2 Sumbu
- 6b. Truck Sedang 2 Sumbu
- 7a1. Truck 3 Sumbu tunggal
- 7a2. Truck 3 Sumbu tandem

- 7b. Truck Gandengan
- 7c1. Truck 4 sumbu
- 7c2a. Truck 5 sumbu tandem
- 7c2b. Truck 5 sumbu triple
- 7c3. Truck 6 sumbu

8. Kendaraan tidak bermotor