

TUGAS AKHIR

**EVALUASI TEBAL PERKERASAN KAKU PADA
RUAS JALAN TOL COLOMADU-KARANGANYAR
DENGAN METODE AASHTO 1993 DAN METODE
BINA MARGA 2002**

***(EVALUATION OF RIGID PAVEMENT THICKNESS
ON THE COLOMADU-KARANGANYAR FREEWAY
USING AASHTO 1993 METHOD AND BINA MARGA
2002 METHOD)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Martin Nugroho Widodo
13511004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI TEBAL PERKERASAN KAKU PADA
RUAS JALAN TOL COLOMADU-KARANGANYAR
DENGAN METODE AASHTO 1993 DAN METODE
BINA MARGA 2002**

**(EVALUATION OF RIGID PAVEMENT THICKNESS
ON THE COLOMADU-KARANGANYAR FREEWAY
USING AASHTO 1993 METHOD AND BINA MARGA
2002 METHOD)**

Disusun oleh

Martin Nugroho Widodo

13511004

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 6 April 2018

Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK. 145110101

Penguji I

Miftahul Fauziah, ST.,M.T.,Ph.D.
NIK. 955110103

Penguji II

Prima Juanita R., S.T., M.Sc.
NIK. 135111103

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Miftahul Fauziah, ST.,M.T.,Ph.D.
NIK. 955110103

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 10 April 2018

Yang membuat pernyataan,



Martin Nugroho Widodo

13511004

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Tol Colomadu-Karanganyar dengan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2002*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, ST., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Ibu Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I,
3. Ibu Miftahul Fauziah, ST., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji I,
4. Ibu Prima Juanita R., S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II,
5. Bapak Corry Ya'cub, Ir., M.T. selaku Dosen Penguji III,
6. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak dan memberikan dorongan semangat hingga selesainya Tugas Akhir ini, dan
7. Semua pihak yang telah membantu hingga selesainya laporan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 10 April 2018

Penulis,

Martin Nugroho Widodo

13511004

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perbandingan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Klasifikasi Jalan	10
3.2 Jalan Tol	11
3.3 Fungsi dan Jenis Perkerasan	12
3.3.1 Perkerasan Lentur	13
3.3.2 Perkerasan Kaku	13
3.3.3 Perkerasan Komposit	18

3.3.4 Jalan Tak Diperkeras (<i>Unpaved Road</i>)	19
3.4 Tanah Dasar	19
3.5 Beton	20
3.5.1. Kuat Tekan	20
3.5.2. Kuat Lentur	20
3.5.3. Modulus Elastisitas	21
3.5.4. Kuat Tarik	22
3.6 Sambungan	23
3.6.1. Jarak Sambungan	23
3.6.2. Tipe - Tipe Sambungan	24
3.7 Penggolongan Jenis Kendaraan	29
3.8 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode Bina Marga 2002	30
3.8.1 Umur Rancangan	30
3.8.2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)	30
3.8.3 Pertumbuhan Lalu Lintas	32
3.8.4 Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi	33
3.8.5 Lalu Lintas Rencana	34
3.8.6 Faktor Keamanan Beban	34
3.8.7 Penentuan Nilai <i>CBR</i>	35
3.8.8 Penentuan Tebal Taksiran Pelat Beton Minimum	36
3.8.9 Analisis Terhadap Fatik dan Erosi	40
3.8.10 Menentukan Ukuran Pelat Beton	46
3.8.11 Penulangan	46
3.8.12 Penentuan Tebal Pondasi	47
3.9 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode <i>AASHTO</i> 1993	48
3.9.1 Umur Rancangan	48
3.9.2 Faktor Distribusi Arah	48
3.9.3 Faktor Distribusi Lajur	48
3.9.4 Penentuan Nilai <i>CBR</i>	49

3.9.5	Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)	49
3.9.6	<i>Vehicle Damage Factor (VDF)</i>	49
3.9.7	<i>Equivalent Single Axel Load (ESAL)</i>	50
3.9.8	Kemampuan Pelayanan (<i>Serviceability</i>)	51
3.9.9	<i>Reliability (R)</i>	52
3.9.10	Deviasi Standar Keseluruhan (So)	53
3.9.11	Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)	54
3.9.12	Kualitas Drainase	56
3.9.13	Persentase Perkerasan Terkena Air	56
3.9.14	Koefisien Drainase (Cd)	57
3.9.15	Koefisien Penyaluran Beban (J)	58
3.9.16	Penentuan Tebal Pelat Beton (D) dengan Formulasi	59
3.9.17	Penentuan Tebal Pelat Beton (D) dengan Nomogram	60
3.9.18	Menentukan Ukuran Segmen Pelat Beton	62
3.9.19	Penulangan	62
3.9.20	Penentuan Lapis Pondasi	64
BAB IV	METODE PENELITIAN	65
4.1	Tinjauan Umum	65
4.2	Lokasi Penelitian	65
4.3	Tahapan Penelitian	66
4.3.1	Pengumpulan Data	66
4.3.2	Metode Analisis Data	67
4.3.3	Kerangka Penelitian	68
BAB V	DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN	72
5.1	Pengumpulan Data	72
5.1.1	Perhitungan Beban As Masing-Masing Kendaraan	72
5.1.2	Volume Lalu Lintas	76
5.1.3	Pertumbuhan Lalu Lintas	76
5.1.4	Distribusi Kendaraan Dari Golongan ke Jenis Kendaraan	76
5.1.5	<i>CBR</i> Tanah Dasar	77
5.1.6	Data Hujan	78

5.1.7 Data Uji Beton	79
5.1.8 Data Perkerasan <i>Existing</i>	79
5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan dengan Metode <i>AASHTO</i> 1993	80
5.2.1 Perhitungan Perkerasan Kaku	80
5.2.2 Penentuan Lapis Pondasi	95
5.2.3 Menentukan Segmen Pelat Beton	95
5.2.4 Perhitungan Penulangan	96
5.3 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2002	97
5.3.1 Perhitungan Perkerasan Kaku	97
5.3.2 Menentukan Segmen Pelat Beton	113
5.3.3 Perhitungan Penulangan	114
5.4 Pembahasan	116
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	120
6.1 Kesimpulan	120
6.2 Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	122
LAMPIRAN	125

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan	7
Tabel 3.1	Klasifikasi Jalan Menurut Kelas, Fungsi, Dimensi Kendaraan dan Muatan Sumbu Terberat	10
Tabel 3.2	Perbedaan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur	15
Tabel 3.3	Penggolongan Kendaraan	30
Tabel 3.4	Konfigurasi Beban As Kendaraan Menurut Manual Perkerasan Jalan dengan Alat <i>Benkelman Beam</i> No.01/MN/BM/83	31
Tabel 3.5	Koefisien Distribusi Kendaraan (C)	34
Tabel 3.6	Faktor Keamanan Beban	35
Tabel 3.7	Diameter Ruji	47
Tabel 3.8	Umur Rancangan Perkerasan	48
Tabel 3.9	Faktor Distribusi Lajur (DL)	49
Tabel 3.10	Skala <i>PSI</i>	51
Tabel 3.11	Nilai <i>Reliability (R)</i>	53
Tabel 3.12	<i>Standard Normal Deviate (ZR)</i>	53
Tabel 3.13	<i>Loss of Support Factors (LS)</i>	55
Tabel 3.14	Kualitas Drainase	56
Tabel 3.15	Koefisien Pengaliran (C)	57
Tabel 3.16	Koefisien Drainase (Cd) untuk Perancangan Perkerasan Beton	58
Tabel 3.17	Koefisien Transfer Beban (J)	59
Tabel 3.18	Penentuan Ukuran <i>Tie Bar</i>	63
Tabel 3.19	Diameter dan Jarak <i>Dowel</i> (Yoder dan Witczak,1975)	64
Tabel 5.1	Beban As Masing-Masing Kendaraan	72
Tabel 5.2	Volume Lalu Lintas (kend/hari) Pada Tahun 2013	76
Tabel 5.3	Pertumbuhan Lalu Lintas Tahun 2012-2017	76

Tabel 5.4	Distribusi Kendaraan yang Melintasi Jalan Tol Colomadu-Karanganyar	77
Tabel 5.5	Jumlah Hari Hujan Per Tahun	78
Tabel 5.6	Data Uji Beton	79
Tabel 5.7	Perhitungan <i>VDF</i> dengan <i>Slab</i> Beton Rencana 9 Inchi	85
Tabel 5.8	Perhitungan <i>VDF</i> dengan <i>Slab</i> Beton Rencana 10 Inchi	86
Tabel 5.9	Perhitungan <i>VDF</i> dengan <i>Slab</i> Beton Rencana 11 Inchi	87
Tabel 5.10	Perhitungan W_{18} dengan Tebal <i>Slab</i> Rencana 9 Inchi	88
Tabel 5.11	Perhitungan W_{18} dengan Tebal <i>Slab</i> Rencana 10 Inchi	88
Tabel 5.12	Perhitungan W_{18} dengan Tebal <i>Slab</i> Rencana 11 Inchi	89
Tabel 5.13	Parameter <i>Input AASHTO 1993</i>	90
Tabel 5.14	Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya	100
Tabel 5.15	Repetisi Sumbu yang Terjadi	102
Tabel 5.16	Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 270 mm	107
Tabel 5.17	Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 280 mm	109
Tabel 5.18	Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 290 mm	111
Tabel 5.19	Perbandingan Tebal Pelat Beton Masing-Masing Metode	117
Tabel 5.20	Perbandingan Parameter <i>Input</i> Masing-Masing Metode	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Tampang Melintang Struktur Perkerasan	12
Gambar 3.2	Struktur Perkerasan Lentur	13
Gambar 3.3	Struktur Perkerasan Kaku	14
Gambar 3.4	Penyebaran Beban pada Perkerasan Kaku	14
Gambar 3.5	Perkerasan Beton Tidak Bertulang	16
Gambar 3.6	Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan	17
Gambar 3.7	Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu	18
Gambar 3.8	Struktur Perkerasan Komposit	18
Gambar 3.9	Sambungan Pelaksanaan Arah Memanjang	24
Gambar 3.10	Sambungan Susut Arah Melintang Tanpa Ruji	25
Gambar 3.11	Sambungan Susut Arah Melintang dengan Ruji	26
Gambar 3.12	Penempatan Sambungan Isolasi	26
Gambar 3.13	Sambungan Isolasi dengan <i>Dowel</i>	27
Gambar 3.14	Sambungan Isolasi dengan Penebalan Tepi	27
Gambar 3.15	Sambungan Isolasi Tanpa <i>Dowel</i>	27
Gambar 3.16	Sambungan <i>Dowel</i> pada Lajur Lalu Lintas	28
Gambar 3.17	Sambungan <i>Tie Bar</i> pada Lajur Lalu Lintas	29
Gambar 3.18	<i>CBR</i> Tanah Dasar Efektif	36
Gambar 3.19	Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, FKB 1,1	37
Gambar 3.20	Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, FKB 1,2	38
Gambar 3.21	Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota Tanpa Ruji, FKB 1,1	39
Gambar 3.22	Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota Tanpa Ruji, FKB 1,2	40

Gambar 3.23	Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan, Dengan/Tanpa Bahu Beton	43
Gambar 3.24	Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton	44
Gambar 3.25	Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, dengan Bahu Beton	45
Gambar 3.26	Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi Bawah	55
Gambar 3.27	Penentuan Tebal Pelat dengan Nomogram Menurut <i>AASHTO</i> 1993	61
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian Ruas Tol Colomadu-Karanganyar Seksi I B	66
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	69
Gambar 5.1	Nilai <i>CBR</i> Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B	78
Gambar 5.2	Tebal Perkerasan Perhitungan Kementerian Pekerjaan Umum	79
Gambar 5.3	Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi	82
Gambar 5.4	Tebal Perkerasan Metode <i>AASHTO</i> 1993 Menggunakan Formulasi	93
Gambar 5.5	Penentuan Tebal Perkerasan Menggunakan Nomogram <i>AASHTO</i> 1993	94
Gambar 5.6	Tebal Perkerasan Metode <i>AASHTO</i> 1993 Menggunakan Nomogram <i>AASHTO</i> 1993	95
Gambar 5.7	Penempatan Penulangan Hasil Desain Metode <i>AASHTO</i> 1993	97
Gambar 5.8	Penentuan <i>CBR</i> Tanah Dasar Efektif	98
Gambar 5.9	Penentuan Tebal Taksiran Minimum Perkerasan	104
Gambar 5.10	Tebal Perkerasan Metode Bina Marga 2002	113
Gambar 5.11	Penempatan Penulangan Metode Bina Marga 2002	115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton	126
Lampiran 2	Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton	130
Lampiran 3	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Single Axles, Pt 2,0</i>	135
Lampiran 4	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Tandem Axles, Pt 2,0</i>	136
Lampiran 5	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Triple Axles, Pt 2,0</i>	138
Lampiran 6	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Single Axles, Pt 2,5</i>	140
Lampiran 7	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Tandem Axles, Pt 2,5</i>	141
Lampiran 8	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Triple Axles, Pt 2,5</i>	143
Lampiran 9	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Single Axles, Pt 3,0</i>	145
Lampiran 10	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Tandem Axles, Pt 3,0</i>	146
Lampiran 11	<i>Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavement, Triple Axles, Pt 3,0</i>	148
Lampiran 12	Struktur Perkerasan Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B Arah Melintang Jalan	150
Lampiran 13	Perkerasan Kaku Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B Tampak Atas Sta 1+100 Sampai Sta 1+600	151

Lampiran 14	Perkerasan Kaku Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B	152
	Tampak Atas Sta 1+600 Sampai Sta 2+100	
Lampiran 15	Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio	153
	Tegangan, Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	270 mm	
Lampiran 16	Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin	157
	Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	270 mm	
Lampiran 17	Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio	161
	Tegangan, Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	280 mm	
Lampiran 18	Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin	165
	Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	280 mm	
Lampiran 19	Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio	169
	Tegangan, Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	290 mm	
Lampiran 20	Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin	173
	Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran	
	290 mm	

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<i>AC</i>	= <i>Aspal Concrete</i>
<i>At</i>	= Luas Penampang Tulangan per Meter Panjang Sambungan
<i>b</i>	= Lebar Rata-Rata Benda Uji
Beton K-125	= Beton dengan Kuat Tekan Karakteristik 125 Kg/cm ²
<i>BS</i>	= Beban Sumbu
<i>C</i>	= Koefisien Distribusi Kendaraan
<i>CBK</i>	= Campuran Beton Kurus
<i>CBR</i>	= <i>California Bearing Ratio</i>
<i>Cd</i>	= Koefisien Drainase
<i>CRCP</i>	= <i>Continuous Reinforced Concrete Pavement</i>
<i>CTB</i>	= <i>Cement Treated Base</i>
<i>d</i>	= Diameter Benda Uji
<i>D</i>	= Tebal Pelat Beton Bertulang
<i>DCP</i>	= <i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
<i>D_D</i>	= Faktor Distribusi Arah
<i>DED</i>	= <i>Detail Engineering Design</i>
<i>DL</i>	= Faktor Distribusi Lajur
<i>E_c</i>	= Modulus Elastisitas Beton
<i>f_c'</i>	= Kuat Tekan Beton 28 hari
<i>f_{cf}</i>	= Kuat lentur beton 28 hari
<i>F_{KB}</i>	= Faktor Keamanan Beban
<i>FE</i>	= Faktor Erosi
<i>FRT</i>	= Faktor Rasio Tegangan
<i>f_t</i>	= Kuat Tarik Belah
<i>g</i>	= Pertumbuhan Lalu Lintas
<i>h</i>	= Tebal pelat

i	= Laju Pertumbuhan Lalu Lintas per Tahun
I	= Panjang Batang Pengikat
J	= Koefisien Transfer Beban
<i>JPCP</i>	= <i>Jointed Plain Concrete Pavement</i>
JR	= Jumlah Roda
<i>JRCP</i>	= <i>Jointed Reinforced Concrete Pavement</i>
JS	= Jumlah Sumbu
JSKNH	= Jumlah Total Sumbu Kendaraan per Hari pada Saat Jalan Dibuka
JSKN rencana	= Jumlah Total Sumbu Kendaraan Niaga Selama Umur Rencana
<i>k</i>	= <i>Modulus of Subgrade Reaction</i>
L	= Panjang Benda Uji
LHR	= Lalu Lintas Harian Rata-Rata
LHR _j	= Jumlah Lalu Lintas Harian Rata-Rata 2 Arah untuk Kendaraan j
<i>LS</i>	= <i>Loss of Support Factors</i>
<i>MR</i>	= <i>Modulus Resilient</i>
MST	= Muatan Sumbu Terberat
n	= Umur Pelayanan Atau Umur Rencana
N _n	= Lalu Lintas Pada Akhir Umur Rencana
N ₁	= Lalu Lintas Pada Tahun Pertama Jalan Dibuka
P	= Beban Maksimum
P _{heff}	= Persentase Hari Efektif Hujan Dalam Setahun yang Akan Mempengaruhi Perkerasan
P _o	= <i>Initial Serviceability</i>
<i>PSI</i>	= <i>Present Serviceability Index</i>
P _t	= <i>Terminal Serviceability</i>
R	= Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas
RB	= Roda Belakang
RD	= Roda Depan
RGB	= Roda Gandeng Belakang
RGD	= Roda Gandeng Depan
S	= Jarak Sambungan Atau Panjang Pelat

Sc'	= Kuat Lentur Beton
So	= Standar Deviasi Keseluruhan
STRT	= Sumbu Tunggal Roda Tunggal
STRG	= Sumbu Tunggal Roda Ganda
STdRG	= Sumbu Tandem Roda Ganda
STrRG	= Sumbu Tridem Roda Ganda
TE	= Tegangan Ekvivalen
Th rata-rata	= Hujan Rata-Rata per Hari
Tj	= Jumlah Rata-Rata Hari Hujan per Tahun
TT	= Tidak Terbatas
UR	= Umur Rencana
URm	= Waktu Tertentu Dalam Tahun, Sebelum UR Selesai
VDF	= <i>Vehicle Damage Factor</i>
VDF _j	= <i>Vehicle Damage Factor</i> untuk Jenis Kendaraan j
Wc	= Berat Volume Beton
WL	= Faktor Air Hujan Yang Masuk Pondasi Jalan
W _t	= Jumlah Beban Gandar Tunggal Standar Kumulatif Selama Umur Rancangan
W ₁₈	= Lalu Lintas Rancangan
Z _R	= <i>Standard Normal Deviate</i>
ΔPSI	= Kehilangan Kemampuan Pelayanan
Ø	= Diameter Tulangan

ABSTRAK

Jalan tol merupakan salah satu prasarana transportasi angkutan darat dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih dan bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain. Jalan Tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar telah selesai pembangunannya pada tahun 2017. Desain jalan tol tersebut menggunakan perkerasan kaku metode SKBI-2.3.28.1988. Terdapat banyak metode lain untuk mendesain tebal perkerasan kaku. Berdasarkan hal tersebut, perencanaan tebal perkerasan kaku *existing* perlu dievaluasi dengan metode lain dan parameter pembanding. Tujuan penelitian untuk membandingkan tebal perkerasan *existing* dengan tebal perkerasan metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2002.

Metode penelitian yang dilakukan menggunakan metode komparatif (*ex post fact*) dengan kondisi *existing*. Data dikumpulkan berdasarkan data sekunder dari instansi terkait yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Surakarta, Dinas Perhubungan Surakarta, Badan Meteorologi Bandara Adi Soemarmo. Data yang dikumpulkan antara lain data *Detail Engineering Design (DED)*, data lalu lintas, data hujan, data tanah, dan data beton. Data kemudian dianalisis dengan menggunakan metode AASHTO 1993 dan metode Bina Marga 2002.

Hasil penelitian pada studi kasus Tol Solo-Ngawi, ruas Colomadu-Karanganyar Sta. 1+ 100 sampai 2+ 100 dengan metode AASHTO 1993 didapat tebal pelat beton sebesar 28 cm, dan tebal pelat beton metode Bina Marga 2002 sebesar 27 cm. Sedangkan tebal pelat beton *existing* sebesar 29 cm, sehingga didapat selisih tebal pelat beton antara *existing* dengan metode AASHTO 1993 sebesar 1 cm, dengan metode Bina Marga selisih sebesar 2 cm. Selisih tebal pelat beton dari 3 metode tidak berbeda jauh dan telah memenuhi persyaratan minimum tebal pelat perkerasan kaku pada jalan tol. Hasil analisis tebal pelat yang berbeda dikarenakan adanya perbedaan parameter *input* yang digunakan oleh masing-masing metode. Perbedaan parameter *input* terdapat pada faktor keamanan beban dan jenis bahu jalan, *serviceability*, *reliability*, *standar normal deviation*, modulus elastisitas beton, koefisien drainase, koefisien transfer beban.

Kata kunci : AASHTO 1993, Bina Marga 2002, Perkerasan Kaku

ABSTRACT

Freeway was one of the land transportation infrastructure specialized for two or more wheelbase vehicles and aimed to shorten the distance and travel time from one place to another. The Solo-Ngawi freeway of Colomadu-Karanganyar section had now been completed using the method of SKBI-2.3.28.1988 in 2007. There were many other methods for designing rigid pavement thickness therefore, the SKBI-2.3.28.1988 method needed to be evaluated by other methods and comparator parameters. The objective of the study was to compare the existing pavement thickness using AASHTO 1993 and Bina Marga 2002 methods.

The research method used was comparative method using existing condition. Data were collected based on secondary data from related institutions, namely the Ministry of Public Works Surakarta, Surakarta Transportation Agency, Adi Soemarmo Airport Meteorology Agency. The data collected were Detail Engineering Design (DED), traffic data, rain data, and soil data, concrete data. The data were then analyzed using the AASHTO 1993 method and Bina Marga 2002 method.

The results showed that Solo-Ngawi highway, Colomadu-Karanganyar had Sta. 1+ 100 to 2+ 100 the thickness concrete slabs using AASHTO method 1993 is 28 cm. While the thickness of concrete plate measurement using Bina Marga 2002 method was equal to 27 cm. The thickness of the existing concrete plate was 29 cm, so the difference of thickness of existing concrete plate compared with AASHTO method 1993 equaled to 1 cm, whereas with method of Bina Marga equaled to 2 cm. The difference in the thickness of the concrete plates of the 3 methods did not vary much and had met the minimum requirements of thick rigid pavement plates on freeway. The different plate thickness analysis results were due to the different input parameters used by each method. The differences of input parameters were in load safety factors and shoulder type, serviceability, realibility, normal deviation standard, modulus elasticity of concrete, drainage coefficient, load transfer coefficient.

Keywords: *AASHTO 1993, Bina Marga 2002, Rigid Pavement*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan moda transportasi di Indonesia saat ini terjadi begitu cepat. Pertumbuhan jumlah moda transportasi yang cukup tinggi membuat kebutuhan kapasitas jalan yang memadai juga cukup tinggi. Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi angkutan darat yang berfungsi sebagai penghubung antara daerah satu dengan daerah lainnya serta mempunyai peranan penting dalam bidang perekonomian, pariwisata, sosial budaya, dan pertahanan keamanan nasional. Adanya program pemerintah Indonesia yaitu jalan tol trans Jawa maka diharapkan jalan tol ini akan mempersingkat waktu tempuh antar daerah sehingga daerah-daerah di Jawa mengalami kemajuan dalam segala bidang.

Pertumbuhan perekonomian yang tinggi wilayah Provinsi Jawa Tengah, hal ini menjadikan Semarang sebagai kota tujuan terdekat dari wilayah Solo-Ngawi dalam kegiatan perpindahan barang dan jasa. Di Semarang terdapat banyak kegiatan industri yang didukung dengan adanya kegiatan ekspor-impor yang terdapat di pelabuhan laut Tanjung Emas dan bandara Internasional Ahmad Yani. Jalan tol Solo-Ngawi ini dibangun dengan tujuan awal yaitu untuk mengatasi volume lalu lintas yang semakin meningkat setiap tahunnya dan mengatasi masalah perpindahan barang dan jasa yang sering terkendala pada puncak musim liburan (*peak season*) agar tetap dapat berjalan.

Pembuatan jalan baru merupakan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan lalu lintas diatas. Adanya pembuatan jalan tol membuat kendaraan seperti mobil dan truk dapat dipindahkan dari yang menggunakan jalan arteri Solo-Ngawi dapat berpindah menggunakan jalan tol. Dengan adanya pengurangan kendaraan yang beralih menggunakan jalan tol dimaksudkan memberikan akses dan pergerakan pada jalan arteri Solo-Ngawi sehingga di kota Solo tidak lagi terjadi kemacetan dan juga dapat mengurangi angka kecelakaan.

Dalam sebuah perencanaan dibutuhkan metode desain perkerasan yang tepat agar perkerasan tahan sampai pada masa layanannya. Desain yang digunakan dalam perencanaan Jalan Tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar ini menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan metode perencanaan SKBI-2.3.28.1988. Terdapat banyak metode lain untuk mendesain tebal perkerasan kaku. Dalam mengevaluasi sebuah perkerasan perlu dikaji dengan beberapa metode lain selain yang digunakan dalam sebuah perencanaan untuk menghasilkan sebuah tebal perkerasan yang efisien dan mampu digunakan selama umur rencana. Berdasarkan hal tersebut, perencanaan tebal perkerasan kaku menggunakan metode SKBI-2.3.28.1988 perlu dievaluasi dengan metode lain dan parameter pembanding dalam penelitian ini adalah metode *AASHTO* 1993 dan metode Bina Marga 2002.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Berapa tebal perkerasan yang dibutuhkan pada perkerasan kaku dengan metode *AASHTO* 1993?
2. Berapa tebal perkerasan yang dibutuhkan pada perkerasan kaku dengan metode Bina Marga 2002?
3. Bagaimana perbandingan tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993, Bina Marga 2002, dan kondisi *existing* yang menggunakan SKBI-2.3.28.1988?
4. Bagaimana perbandingan parameter *input* yang digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang tersebut di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada perkerasan kaku dengan metode *AASHTO* 1993 pada jalan tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar.

2. Menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada perkerasan kaku dengan metode Bina Marga 2002 pada jalan tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar.
3. Membandingkan hasil desain dengan metode *AASHTO* 1993, Bina Marga 2002 dan kondisi *existing* yang menggunakan SKBI-2.3.28.1988.
4. Membandingkan parameter *input* yang digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan prasarana transportasi di Indonesia, dan sebagai pengetahuan baru kepada masyarakat. Diantara beberapa manfaat tersebut adalah sebagai berikut.

1. Sebagai pembelajaran untuk lebih memahami pengetahuan tentang perencanaan kaku dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002.
2. Menjadi bahan pertimbangan pihak perencana untuk desain jalan tol berikutnya.
3. Memberi masukan bagi penelitian selanjutnya di bidang metode perkerasan jalan.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa lingkup permasalahan yang dibatasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi studi kasus pada proyek jalan tol Solo-Ngawi, khususnya ruas Colomadu-Karanganyar Seksi 1 B (Sta. 1+ 100 s/d 2+ 100).
2. Penelitian ini lebih menitikberatkan pada perencanaan tebal perkerasan kaku sehingga perencanaan tebal perkerasan lentur tidak dihitung.
3. Tidak menghitung perencanaan drainase untuk perkerasannya.
4. Tidak menghitung perencanaan bahu jalan melainkan lajur utama saja.
5. Tidak menghitung anggaran biaya dan waktu pelaksanaannya.

6. Tidak melakukan pengujian di laboratorium untuk menentukan kuat tekan beton dan sebagainya. Sehingga data yang diperoleh berdasarkan data sekunder dari instansi terkait.
7. Data perencanaan berdasarkan data sekunder dari instansi terkait meliputi data tanah, data lalu lintas dan data hidrologi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Sari dan Augustine (2004) melakukan penelitian analisis perbandingan perencanaan tebal perkerasan kaku antara metode *AASHTO* 1993 dengan metode Bina Marga 1983. Lokasi penelitian ruas jalan tol Cikampek-Padalarang seksi 1. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji perencanaan tebal pelat perkerasan kaku tanpa tulangan. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa tebal perkerasan kaku menggunakan metode *AASHTO* 1993 sebesar 25 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga 1983 sebesar 17,5 cm.

Mudjanarko (2009) melakukan penelitian analisis perbandingan beberapa metode perkerasan beton semen untuk jalan akses jembatan Suramadu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan tebal pelat dengan metode perkerasan beton Bina Marga, dan *PCA*. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa tebal perkerasan beton semen menggunakan metode *PCA* sebesar 16 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga sebesar 18 cm.

Farid (2013) melakukan penelitian analisis perbedaan biaya konstruksi jalan beton dan jalan aspal dengan metode Bina Marga dan *AASHTO* 1993 selama umur rencana 20 tahun. Lokasi penelitian ruas jalan tol Mojokerto-Kertosono. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan tebal perkerasan kaku dan tebal perkerasan lentur yang kemudian menganalisis biaya konstruksi pembangunan jalan tersebut. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa dengan umur rencana 20 tahun tebal perkerasan lentur dengan metode Bina Marga yaitu 25 cm sedangkan tebal perkerasan kaku dengan metode *AASHTO* 1993 yaitu 20 cm dan selisih biaya kedua perkerasan tersebut Rp 5.249.318.505,26.

Sulistyo dan Kusumaningrum (2013) melakukan penelitian analisis perbandingan perencanaan perkerasan kaku dengan menggunakan metode Bina Marga dan metode *AASHTO* serta merencanakan saluran permukaan pada ruas jalan Abdul Wahab, Sawangan. Lokasi penelitian ruas Jalan Abdul Wahab yang

menghubungkan Depok-Tangerang, Depok-Parung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung kebutuhan tebal perkerasan kaku dengan rencana 20 tahun dengan menggunakan metode Bina Marga dan *AASHTO* serta menghitung dimensi saluran tepi untuk perencanaan drainase jalan yang dapat menampung debit air berdasarkan intensitas curah hujan maksimum. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa Tebal perkerasan kaku menggunakan metode *AASHTO* 1993 sebesar 21 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga 1983 sebesar 20 cm. Dimensi saluran permukaan tepi yang direncanakan sesuai dengan debit dan kecepatan aliran adalah sebesar 0,5 m x 0,5 m.

Nikmah (2013) melakukan penelitian perencanaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) jalan purwodadi-kudus ruas 198. Lokasi penelitian ruas jalan Purwodadi-Kudus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji perencanaan tebal pelat perkerasan kaku yang digunakan pada jalan Purwodadi-Kudus. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa tebal perkerasan kaku menggunakan metode *AASHTO* 1993 sebesar 19 cm.

2.2 Perbandingan Penelitian

Perbandingan antara penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilakukan dapat di lihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sari dan Augustine (2004)	Mudjanarko (2009)	Farid (2013)	Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)	Penulis
Judul Penelitian	Analisis perbandingan perencanaan tebal perkerasan kaku antara metode <i>AASHTO</i> 1993 dengan metode Bina Marga 1983	Analisis perbandingan beberapa metode perkerasan beton semen untuk jalan akses jembatan Suramadu	Analisis perbedaan biaya konstruksi jalan beton dan jalan aspal dengan metode Bina Marga dan <i>AASHTO</i> 1993 selama umur rencana 20 tahun	Analisis perbandingan perencanaan perkerasan kaku dengan menggunakan metode Bina Marga dan metode <i>AASHTO</i> serta merencanakan saluran permukaan pada ruas jalan Abdul Wahab, Sawangan	Evaluasi tebal perkerasan kaku jalan tol Solo-Ngawi dengan metode <i>AASHTO</i> 1993 dan metode Bina Marga 2002

Sumber : Sari dan Augustine (2004), Mudjanarko (2009), Farid (2013), Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sari dan Augustine (2004)	Mudjanarko (2009)	Farid (2013)	Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)	Penulis
Tujuan Penelitian	Mengkaji perencanaan tebal pelat perkerasan kaku tanpa tulangan	Mengetahui perbandingan tebal pelat dengan metode perkerasan beton Bina Marga, dan <i>PCA</i>	Membandingkan tebal perkerasan kaku dan tebal perkerasan lentur yang kemudian menganalisis biaya konstruksi pembangunan jalan tersebut	Menghitung kebutuhan tebal perkerasan kaku dengan rencana 20 tahun dengan menggunakan Metode Bina Marga dan <i>AASHTO</i> serta menghitung dimensi saluran tepi	Mengevaluasi tebal perkerasan kaku yang direncanakan dengan SKBI-2.3.28.1988 yang dibandingkan dengan metode <i>AASHTO</i> 1993 dan metode Bina Marga 2002
Lokasi Penelitian	Jalan Tol Cikampek-Padalarang seksi 1	Jembatan Suramadu	Jalan Tol Mojokerto-Kertosono	Jalan Abdul Wahab yang menghubungkan Depok-Tangerang, Depok-Parung	Jalan Tol Solo-Ngawi, khususnya ruas Colomadu-Karanganyar

Sumber : Sari dan Augustine (2004), Mudjanarko (2009), Farid (2013), Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Sari dan Augustine (2004)	Mudjanarko (2009)	Farid (2013)	Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)	Penulis
Metode Penelitian	AASHTO 1993 dan Bina Marga 1983	Bina Marga dan PCA	Bina Marga dan AASHTO 1993	AASHTO 1993 dan Bina Marga 1983	AASHTO 1993 dan Bina Marga 2002
Hasil Penelitian	Tebal perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO 1993 sebesar 25 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga 1983 sebesar 17,5 cm	Tebal perkerasan beton semen menggunakan metode PCA sebesar 16 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga sebesar 18 cm	Dengan umur rencana 20 tahun tebal perkerasan lentur metode Bina Marga yaitu 25 cm sedangkan tebal perkerasan kaku metode AASHTO 1993 yaitu 20 cm dan selisih biaya kedua perkerasan tersebut Rp 5.249.318.505,26.	Tebal perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO 1993 sebesar 21 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga 1983 sebesar 20 cm. Dimensi saluran permukaan tepi adalah sebesar 0,5 m x 0,5 m.	Tebal perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO 1993 sebesar 28 cm sedangkan tebal perkerasan metode Bina Marga 2002 sebesar 27 cm.

Sumber : Sari dan Augustine (2004), Mudjanarko (2009), Farid (2013), Sulistyo dan Kusumaningrum (2013)

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan dalam menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton, dan kemampuan jalan tersebut dalam melayani lalu lintas kendaraan dengan dimensi tertentu. Klasifikasi kelas jalan, fungsi jalan, dan dimensi kendaraan maksimum kendaraan yang diijinkan melalui jalan tersebut, menurut Peraturan Pemerintah RI No.38/2004 dapat di lihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas, Fungsi, Dimensi Kendaraan dan Muatan Sumbu Terberat

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum		Muatan Sumbu Terberat (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
I	Arteri	18	2,5	>10
II		18	2,5	10
III		18	2,5	8
III A	Kolektor	18	2,5	8
III B		12	2,5	8
III C	Lokal	9	2,1	8

Sumber: Peraturan Pemerintah RI No.38 (2004)

Istilah - istilah dan definisi fungsi jalan yang mengacu pada Peraturan Pemerintah RI No.34/2006 adalah sebagai berikut.

1. Jalan arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien (Undang-Undang RI No. 13 Tahun 1980).
2. Jalan kolektor adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan/pembagian dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi (Undang-Undang RI No. 13 Tahun 1980).
3. Jalan lokal adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi (Undang-Undang RI No. 13 Tahun 1980).

4. Jalan arteri primer adalah jalan yang menghubungkan secara efisien antar pusat kegiatan nasional atau antar pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah.
5. Jalan kolektor primer adalah jalan yang menghubungkan secara efisien antar pusat kegiatan wilayah atau menghubungkan antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal.

3.2 Jalan Tol

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol (Pasal 1 UU No. 15 Tahun 2005 tentang jalan tol).

Jalan tol merupakan jalan umum yang mempunyai karakteristik lebih tinggi dibanding dengan karakteristik jalan pada umumnya serta mempunyai fungsi yang penting maka jalan tol harus memenuhi berbagai macam persyaratan teknis dan spesifikasinya (UU No. 15 Tahun 2005 tentang jalan tol) adalah sebagai berikut.

1. Persyaratan Teknis Jalan Tol

Beberapa hal mengenai persyaratan teknis jalan tol adalah sebagai berikut.

- a. Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.
- b. Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam dan untuk jalan tol di wilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam.
- c. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 (delapan) ton.

2. Spesifikasi Jalan Tol

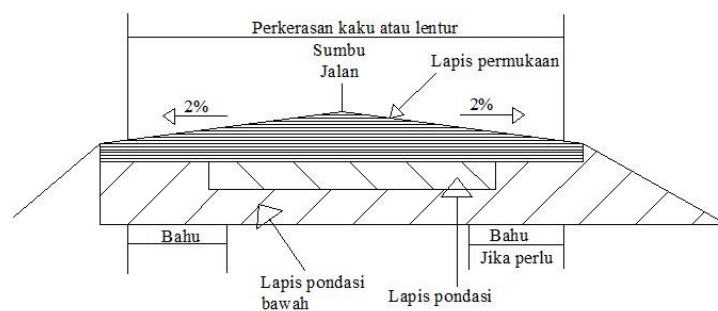
Spesifikasi jalan tol adalah sebagai berikut.

- a. Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya.

- b. Jarak antar simpang susun, paling rendah 5 (lima) kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 (dua) kilometer untuk jalan tol dalam perkotaan.
- c. Jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah.
- d. Menggunakan pemisah tengah atau median.

3.3 Fungsi dan Jenis Perkerasan

Tanah asli di alam jarang sekali dalam kondisi mampu mendukung beban berulang dari lalu lintas kendaraan tanpa mengalami deformasi yang besar. Karena itu, dibutuhkan suatu struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan. Struktur ini disebut perkerasan (*pavement*). Tampang melintang struktur perkerasan dapat di lihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tampang Melintang Struktur Perkerasan
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

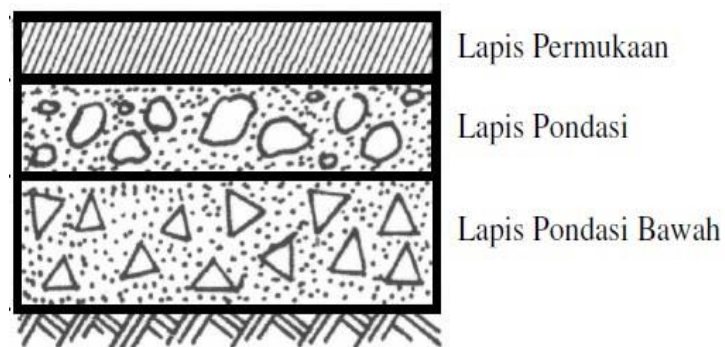
Fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan. Secara umum, fungsi perkerasan jalan adalah sebagai berikut.

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan permukaan rata bagi pengendara.
3. Untuk memberikan kekasatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan.
4. Untuk mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindung dari tekanan yang berlebihan.

Pemilihan tipe perkerasan yang akan dipilih terkait dengan dana pembangunan yang tersedia, biaya pemeliharaan, volume lalu lintas yang dilayani, serta kecepatan pembangunan agar lalu lintas tidak terlalu lama terganggu oleh pelaksanaan proyek.

3.3.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya (Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, 1987). Struktur perkerasan lentur dapat di lihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur Perkerasan Lentur
(Sumber: Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur, 1987)

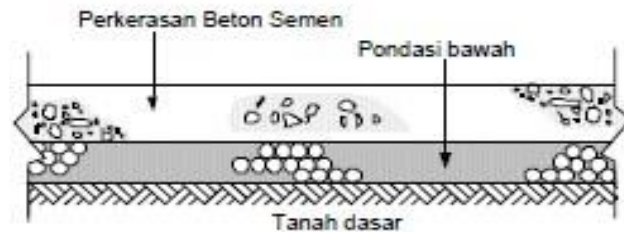
3.3.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan beton semen atau lebih dikenal sebagai perkerasan kaku adalah suatu struktur perkerasan yang umumnya terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis beton semen dengan atau tanpa tulangan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002).

Perkerasan jalan semen Portland atau lebih sering disebut perkerasan kaku atau juga disebut *rigid pavement*, terdiri dari dari pelat beton semen Portland dan lapisan pondasi (bisa juga tidak ada) diatas tanah dasar (Hardiyatmo, 2015).

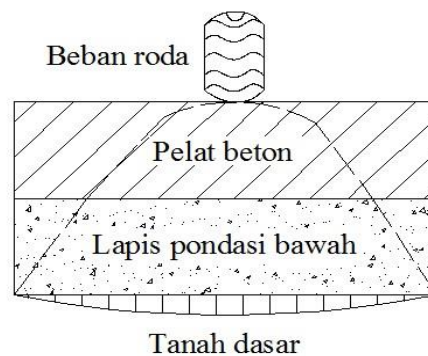
Hardiyatmo (2015) menguraikan bahwa perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi maka akan mendistribusikan beban terhadap bidang

area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari *slab* beton itu sendiri. Struktur perkerasan kaku secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Struktur Perkerasan Kaku
(Sumber: Pedoman Perencanaan Perkerasan Kaku, 2002)

Lapis perkerasan kaku memiliki fungsi yang sama dengan lapis perkerasan lentur yaitu untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas yang berada di atasnya tanpa menyebabkan kerusakan konstruksi pada jalan sehingga dapat memberikan kenyamanan dan keamanan pada pengguna jalan. Mekanisme penyebaran beban pada lapis perkerasan lentur dapat di lihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Penyebaran Beban pada Perkerasan Kaku
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Perkerasan yang umumnya digunakan di Indonesia adalah perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Pemilihan penggunaan jenis perkerasan kaku dibandingkan dengan perkerasan lentur yang sudah lama dikenal dan lebih sering digunakan, berdasarkan keuntungan dan kerugian masing-masing jenis perkerasan tersebut. Perbedaan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur dapat di lihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perbedaan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

No	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Komponen perkerasan terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah dan pelat beton semen Portland.	Komponen perkerasan terdiri dari lapis pondasi bawah, lapis pondasi, dan lapis permukaan.
2	Bahan ikat semen Portland (<i>PC</i>).	Bahan ikat <i>asphalt</i> .
3	Kebanyakan digunakan untuk jalan kelas tinggi.	Digunakan untuk semua kelas jalan dan tingkat volume lalu lintas.
4	Pencampuran adukan beton mudah dikontrol.	Pengontrolan kualitas campuran lebih rumit.
5	Umur rencana dapat mencapai 20 - 40 tahun.	Umur rencana sekitar 10 - 20 tahun.
6	Lebih tahan terhadap drainase yang buruk.	Kurang tahan terhadap drainase yang buruk.
7	Biaya awal pembangunan lebih tinggi.	Biaya awal pembangunan lebih rendah.
8	Biaya pemeliharaan kecil. Namun, jika terjadi kerusakan biaya pemeliharaan lebih tinggi.	Biaya pemeliharaan lebih besar.
9	Kekuatan perkerasan lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton.	Kekuatan perkerasan ditentukan oleh kerjasama setiap lapis perkerasan.
10	Tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal pelat beton tidak termasuk pondasi.	Tebal perkerasan adalah tebal seluruh lapisan yang ada diatas tanah dasar.

Sumber: Hardiyatmo (2015)

Pemilihan tipe perkerasan kaku memiliki pilihan yang beraneka ragam. Hardiyatmo (2015) menyatakan perkerasan kaku atau perkerasan semen Portland dikategorikan menjadi dua yaitu perkerasan beton dengan sambungan dan tanpa sambungan. Adapun yang disebut perkerasan beton konvensional adalah sebagai berikut.

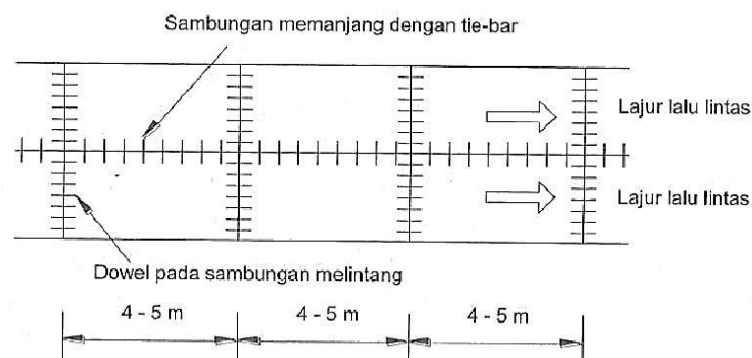
1. Perkerasan kaku tak bertulang bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*).
2. Perkerasan kaku bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*).
3. Perkerasan kaku bertulang kontinyu (*Continuous Reinforced Concrete Pavement, CRCP*).

Selain tipe konvensional, terdapat juga tipe perkerasan beton prategang dan beton pracetak. Perkerasan beton panel pracetak (*precast panel concrete pavement*) adalah perkerasan beton yang pelatnya dicetak di luar proyek. Panel-panel pracetak dihubungkan satu sama lain dengan batang-batang *dowel* dan *tie-bar* atau dapat dibuat prategang setelah penempatannya. *Precast panel concrete pavement* membutuhkan lapis pondasi di bawah panel-panel beton yang harus rata saat pelaksanaannya.

1. Perkerasan Beton Tidak Bertulang

Hardiyatmo (2015) menyatakan bahwa perkerasan beton tidak bertulang biasanya dibuat bersambungan sehingga disebut perkerasan beton bertulang bersambungan (*jointed plain concrete pavement*).

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan untuk perkerasan beton tidak bertulang bersambungan jarak maksimum sambungan arah memanjang 3-4 m, maksimum 5 m. Bentuk panel-panel pelat beton dibuat mendekati bujur sangkar atau perbandingan maksimum antara panjang dan lebarnya 1,25 : 1. Perkerasan beton tidak bertulang, walaupun namanya tidak bertulang namun batang pengikat (*tie-bar*) umumnya tetap digunakan pada sambungan arah memanjang yang digunakan untuk mencegah terbukanya sambungan ini. Perkerasan beton bertulang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



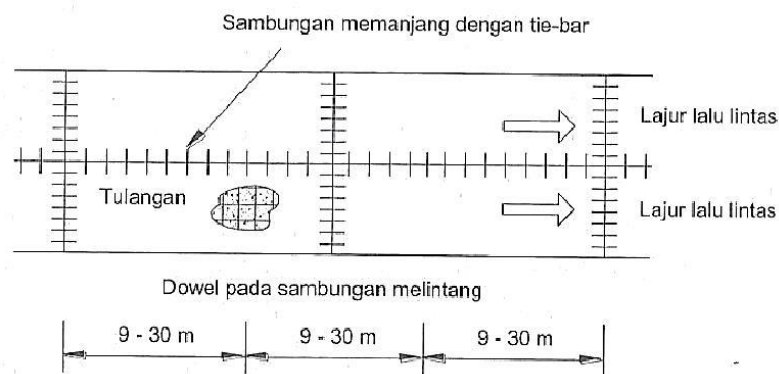
Gambar 3.5 Perkerasan Beton Tidak Bertulang
(Sumber: Fwa, 2006)

2. Perkerasan Beton Bertulang

Perkerasan beton bertulang terdiri dari pelat beton semen Portland dengan tebal tertentu yang diperkuat dengan tulangan-tulangan. Tulangan dapat berupa batang-batang baja terpisah atau anyaman baja dilas (*welded steel mats*). Tulangan-tulangan berfungsi untuk mengendalikan retak dan bukan untuk mendukung beban.

Hardiyatmo (2015) menyatakan perkerasan beton bertulang terdiri dari dua tipe perkerasan adalah sebagai berikut.

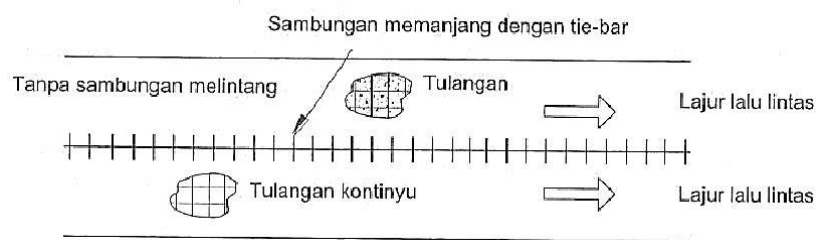
- a. Perkerasan beton bertulang bersambungan (*jointed reinforced concrete pavement*) dirancang dengan jarak sambungan yang cukup jauh. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) mengacu pada Austroad (1992) menyarankan panjang pelat dan jarak sambungan melintang *JRCP* berkisar antara 8-15 m. Di beberapa negara jarak sambungan *JRCP* berkisar antara 15-35 m. Perkerasan beton bertulang bersambungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan
(Sumber: Fwa, 2006)

- b. Perkerasan kaku bertulang kontinyu (*continuous reinforced concrete pavement*). Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) menyarankan panjang pelat dari *CRCP* lebih besar dari 75 m. Perkerasan beton *CRCP* dirancang sedemikian hingga retak melintang berkembang pada jarak yang pendek, yaitu dengan jarak retak tipikal sekitar 1 meter. Jarak tulangan dibuat lebih rapat, karena tulangan berfungsi untuk mendistribusikan retak agar

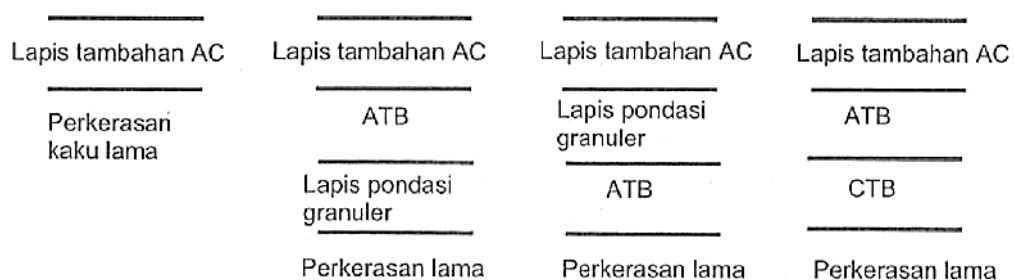
seragam di sepanjang perkerasan. Fungsi tulangan selain itu untuk mencegah timbulnya retak yang terlalu lebar. *CRCP* membutuhkan angker pada ujung awal dan akhir dari perkerasan. Angker ini berfungsi untuk menjaga pengerutan pelat akibat penyusutan. Perkerasan beton bertulang kontinyu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu
(Sumber: Fwa, 2006)

3.3.3 Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Hardiyatmo (2015) menyatakan perkerasan komposit adalah perkerasan gabungan antara perkerasan beton semen Portland dan perkerasan aspal. Perkerasan komposit terdiri dari lapis beton aspal (*Aspal Concrete, AC*) yang berada di atas perkerasan beton semen Portland atau lapis pondasi dirawat. Lapis pondasi dirawat, dapat terdiri dari lapis pondasi dirawat aspal (*Asphalt Treated Base, ATB*) atau lapis pondasi dirawat semen (*Cement Treated Base, CTB*). Struktur perkerasan komposit secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Struktur Perkerasan Komposit
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

3.3.4 Jalan Tak Diperkeras (*Unpaved Road*)

Hardiyatmo (2015) menyatakan jalan tak diperkeras (*unpaved road*) adalah jalan dengan perkerasan sederhana, yaitu permukaan jalan hanya berupa lapisan granuler (kerikil) yang dihamparkan di atas tanah dasar. Jalan tipe ini digunakan bila volume lalu lintas sangat kecil atau populasi penduduk yang dilayani masih rendah. Lapis permukaan perkerasan umumnya hanya digunakan lapisan kerikil yang dipadatkan. Jalan tak diperkeras secara umum dibagi menjadi dua yaitu sistem Telford dan sistem Telasah.

Konstruksi Telford merupakan susunan batu belah besar berukuran 10/15 atau 15/20 yang disusun berdiri dengan batu pecah yang lebih kecil mengisi rongga di atasnya sehingga menjadikan permukaan yang rata, kemudian dipadatkan/digilas dengan mesin gilas, selanjutnya ditabur sirtu diseluruh permukaan. Konstruksi Telasah mempunyai komposisi material yang sama dengan konstruksi Telford, yaitu pasangan/susunan batu berukuran 15/20 atau 20/30. Hanya saja konstruksi Telasah dalam pemasangan batu bagian runcingnya menghadap ke bawah dan cara pematatannya secara manual, yaitu dengan dipukul menggunakan martil seberat 5 sampai 10 kg.

3.4 Tanah Dasar

Perkerasan berfungsi untuk memberikan permukaan yang halus pada kendaraan untuk segala musim. Kinerja perkerasan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik tanah dasar. Tanah sebagai pondasi secara langsung menerima beban lalu lintas dari lapis perkerasan yang berada di atasnya yang disebut tanah dasar (*subgrade*). Tanah dasar merupakan bagian dasar dimana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) atau perkerasan berada, maka mutu dari struktur perkerasan bergantung pada stabilitas struktur tanah dasar (Hardiyatmo, 2015).

Tanah dasar merupakan tanah dengan ketebalan tertentu yang dipadatkan. Umumnya, tanah dasar yang berfungsi sebagai alas atau pondasi jalan yang terdiri dari material galian atau urugan dipadatkan dengan kedalaman tertentu di bawah dasar struktur perkerasan. Semakin kaku perkerasan, maka penyebaran tekanan

roda ke tanah dasar semakin mengecil. Dengan demikian, kedalaman tanah dasar akan bervariasi dan bergantung pada besarnya beban dan tipe perkerasan.

3.5 Beton

Beton semen Portland umumnya digunakan pada perkerasan kaku. Kekuatan semen Portland akan bertambah dengan berjalannya waktu. Waktu pengerasan yang diambil untuk penentuan kuat tekan *ultimit* dalam perancangan, umumnya 28 hari setelah pengecoran, walaupun kekuatan 7 hari juga sering digunakan sebagai indikasi awal dari kekuatan batasnya (*ultimit*). Beberapa hal mengenai beton akan dijelaskan pada subbab berikut ini.

3.5.1 Kuat Tekan

Hardiyatmo (2015) menguraikan bahwa kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menahan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Secara tipikal, kuat tekan beton umur 7 hari bisa mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85-90% dari kuat tekan beton 28 hari. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar 10-65 Mpa. Kebanyakan struktur beton bertulang menggunakan kuat tekan (f_c') antara 17-30 Mpa. Uji tekan beton umumnya mempunyai kekuatan tekan beton maksimum pada regangan sekitar 0,002.

3.5.2 Kuat Lentur

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan pada balok beton tersebut sampai balok beton patah (Hardiyatmo, 2015). Kuat lentur (*flexural strength*) beton umur 28 hari disyaratkan tidak boleh lebih rendah dari 4 MPa (40 kg/cm²) sesuai PD.T-05-2004-B. Kuat lentur beton dengan agregat batu pecah menurut Pd.T-14-2003 dapat ditentukan dengan Persamaan 3.1.

$$S_c' = 0,75 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.1)$$

dengan:

S_c' = Kuat lentur (MPa)

f_c' = Kuat tekan beton 28 hari (MPa)

Menghitung modulus keruntuhan (M_R) dari beton tersebut ditentukan dengan Persamaan 3.2.

$$M_R = S_c' = \frac{PL}{bd^2} \quad (3.2)$$

dengan:

M_R = Modulus keruntuhan

P = Beban maksimum (lb)

L = Panjang balok (inchi)

b = Lebar rata-rata balok (inchi)

d = Tebal balok (inchi)

3.5.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekerasan (*stiffness*) dari suatu bahan tertentu. Modulus ini dalam aplikasi rekayasa didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada sebuah benda dengan regangan yang dihasilkan. Menentukan modulus elastisitas beton dapat ditentukan dengan persamaan menurut SNI 03-2491-1991 dan persamaan menurut ACI-89.

1. Persamaan - persamaan menurut SNI 03-2491-1991

Modulus elastisitas beton dengan berat volume beton antara 1500-2500 kN/m³ ditentukan dengan Persamaan 3.3. Modulus elastisitas beton dengan berat volume sekitar 2300 kg/m³ ditentukan dengan Persamaan 3.4.

$$E_c = 0,043 \times W_c^{1,50} \times \sqrt{f_c'} \quad (3.3)$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.4)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat volume beton (kg/m^3)

f_c' = Kuat tekan beton 28 hari (MPa)

2. Persamaan - persamaan menurut ACI-89

Modulus elastisitas beton dengan berat volume beton antara 14-24 kg/m^3 ditentukan dengan Persamaan 3.5. Modulus elastisitas beton dengan berat volume sekitar 22 - 24 kg/m^3 ditentukan dengan Persamaan 3.6.

$$E_c = 33 \times W_c^{1,5} \times \sqrt{f_c'} \quad (3.5)$$

$$E_c = 57000 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.6)$$

dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (psi)

W_c = Berat volume beton (pcf)

f_c' = Kuat tekan beton uji silinder 28 hari (psi)

3.5.4 Kuat Tarik

Kuat tarik beton adalah tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh sebuah balok beton ketika diregangkan atau ditarik, sebelum balok beton tersebut patah (Hardiyatmo, 2015).

Tegangan tarik pada saat benda uji terbelah disebut kuat silinder belah (*split cylinder strength*), yang nilainya dapat ditentukan dengan Persamaan 3.7 dan nilai yang diperoleh pada beberapa benda uji, secara tipikal berkisar antara 0,5-0,6 $\sqrt{f_c'}$ sehingga untuk beton normal sering digunakan $0,57\sqrt{f_c'}$. Nilai kuat tarik belah dapat ditentukan dengan Persamaan 3.7.

$$f_t = \frac{2 P}{\pi L d} \quad (3.7)$$

dengan:

f_t = Kuat tarik belah (N/mm^2)

P = Beban pada saat runtuh (N)

L = Panjang benda uji (m)

d = Diameter benda uji (m)

3.6 Sambungan

Kinerja perkerasan beton bergantung pada kinerja dari sambungan-sambungan. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah 2002 menyatakan bahwa sambungan pada perkerasan berfungsi sebagai berikut.

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

Beberapa hal mengenai sambungan yang digunakan dalam perkerasan jalan akan dijelaskan pada subbab berikut ini.

3.6.1 Jarak Sambungan

Jarak sambungan kontraksi memanjang dan melintang bergantung pada kondisi lokal material dan lingkungan. Jarak sambungan dipengaruhi oleh tebal pelat beton dan kemampuan pengisi sambungan. (AASHTO, 1993).

AASHTO (1993) memberikan petunjuk sebagai pendekatan kasar bahwa jarak sambungan pelat atau panjang pelat beton perkerasan sebagaimana dalam Persamaan 3.8.

$$S = 2 D \quad (3.8)$$

dengan:

S = Jarak sambungan atau panjang pelat (ft)

D = Tebal pelat beton bertulang (in)

3.6.2 Tipe - Tipe Sambungan

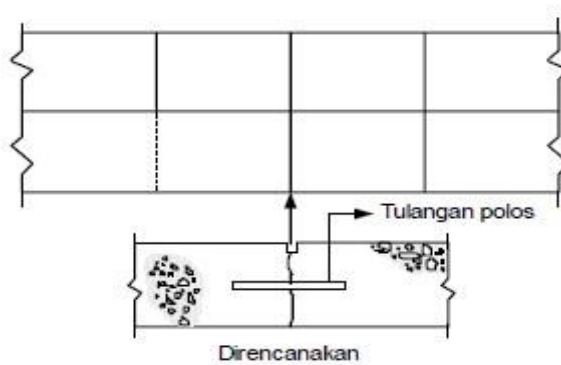
Terdapat beberapa tipe sambungan pada perkerasan kaku. Kriteria perancangan sambungan pada perkerasan kaku tidak bersambungan maupun bersambungan sama. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002) menyimpulkan bahwa secara umum, tipe-tipe sambungan perkerasan beton dapat dibagi menjadi 4 tipe sebagai berikut.

1. Sambungan pelaksanaan
2. Sambungan muai
3. Sambungan susut
4. Sambungan isolasi

Bagian ini akan menguraikan mengenai sambungan pelaksanaan, sambungan muai, sambungan susut, sambungan lengkung, *dowel*, *tie-bar*.

a. Sambungan Pelaksanaan (*Contruction Joint*)

Sambungan pelaksanaan merupakan jenis sambungan melintang atau memanjang yang dibuat untuk memisahkan bagian-bagian yang dicor/dihampar pada saat yang berbeda, ditempatkan di antara beton hasil penghamparan lama dengan beton asli penghamparan baru (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002). Sambungan pelaksanaan harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan sampai 17 cm. Untuk Ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm, dan jarak 60 cm. Sambungan pelaksanaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Sambungan Pelaksanaan Arah Memanjang
(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

b. Sambungan Muai (*Expansion Joint*)

Hardiyatmo (2015) menguraikan bahwa sambungan muai atau sambungan ekspansi berfungsi untuk memberikan ruang pemuaian pelat beton yang cukup di antara pelat-pelat perkerasan guna mencegah adanya tegangan tekan berlebihan yang dapat mengakibatkan perkerasan beton tertekuk. Lebar celah sambungan 19 mm ($\frac{3}{4}$ in), dalam hal khusus lebar celah dapat mencapai 25 mm (1 in). Sambungan muai yang tidak menyediakan penguncian agregat, maka diperlukan alat penyalur beban, yaitu *dowel*. Sambungan muai melintang, diletakkan pada lokasi dimana akibat pemuaian perkerasan diperkirakan dapat merusak jembatan atau bangunan di dekatnya.

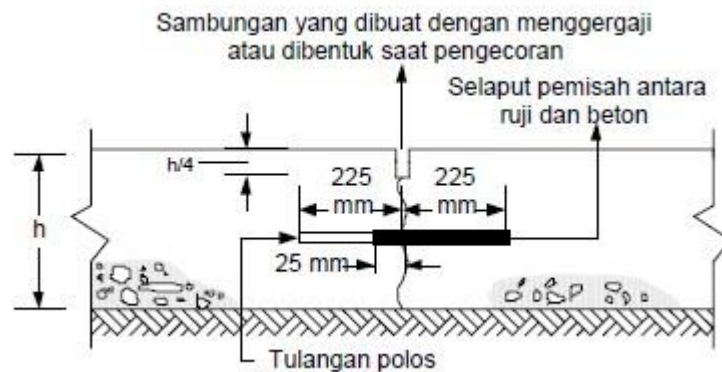
c. Sambungan Susut (*Contraction Joint*)

Sambungan susut merupakan jenis sambungan melintang yang dibuat dengan maksud untuk mengendalikan retak susut beton, serta membatasi pengaruh tegangan lenting yang timbul pada pelat akibat pengaruh perubahan temperatur dan kelembaban (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan jarak sambungan susut untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4-5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8-15 m dan untuk sambungan menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan susut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Sambungan Susut Arah Melintang Tanpa Ruji
(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

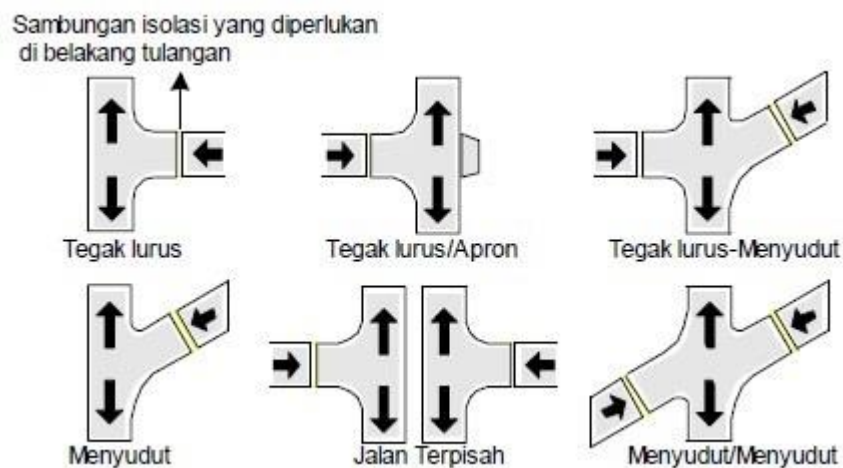


Gambar 3.11 Sambungan Susut Arah Melintang dengan Ruji

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

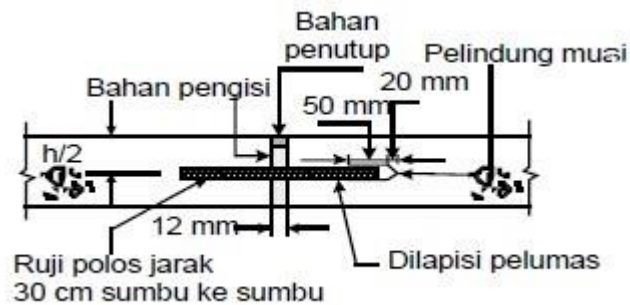
d. Sambungan Isolasi (*Isolation Joint*)

Sambungan isolasi adalah sambungan yang digunakan untuk memisahkan perkerasan dengan bangunan lain seperti jalan pendekat jembatan, *manhole*, jalan lama, dan lain-lain (Hardiyatmo, 2015). Penempatan sambungan isolasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12. Sambungan isolasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13, Gambar 3.14, dan Gambar 3.15.



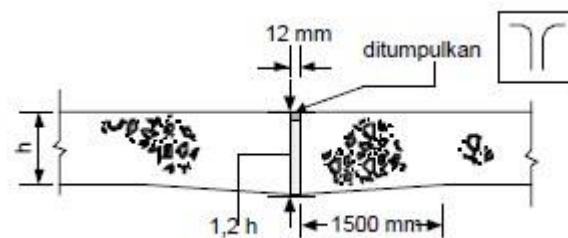
Gambar 3.12 Penempatan Sambungan Isolasi

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.13 Sambungan Isolasi dengan Dowel

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.14 Sambungan Isolasi dengan Penebalan Tepi

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.15 Sambungan Isolasi Tanpa Dowel

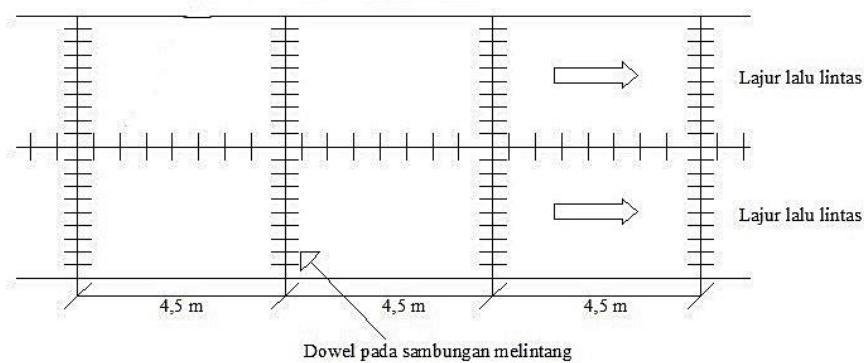
(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

e. *Dowel*

Ruji (*dowel*) merupakan sepotong baja polos lurus yang dipasang pada setiap sambungan melintang dengan maksud sebagai sistem penyalur beban, sehingga pelat yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadinya perbedaan penurunan yang berarti (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002).

Dowel pada sambungan melintang harus dipasang lurus dan sejajar sumbu jalan. *AASHTO* (1993) merekomendasikan batang *dowel* berdiameter $1/8$ dari tebal pelat beton atau diameter *dowel* sama dengan $D/8$ dengan panjang 46 cm (18 in) dan jarak 30 cm (12 in).

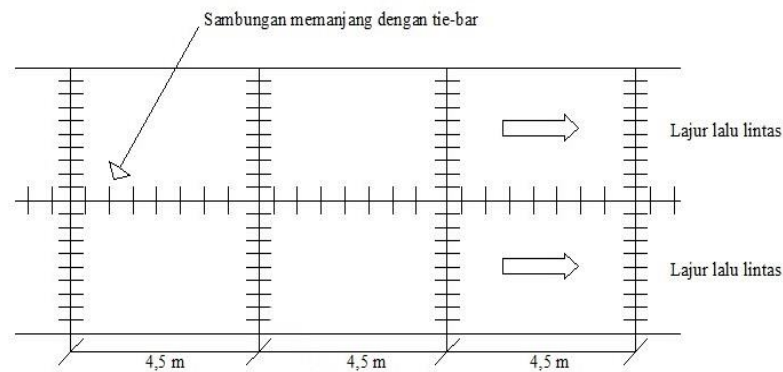
Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah (Pd.T-14-2003) mensyaratkan batang *dowel* harus terbuat dari batang baja polos dan memenuhi spesifikasi untuk batang polos *AASHTO* M31-81, *AASHTO* M42-81. Letak dari tulangan *dowel* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Sambungan Dowel Pada Lajur Lalu Lintas
(Sumber: Fwa, 2006)

f. *Tie-bar*

Tie-bar berdiameter lebih kecil dibandingkan *dowel* dan dipasang pada jarak yang relatif jauh. Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, Pd XX-2002 mensyaratkan jarak antar sambungan sekitar 3-4 m dan sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm, apabila digunakan batang pengikat dari jenis baja lain, maka baja tersebut harus dapat dibengkokkan dan diluruskan kembali tanpa mengalami kerusakan. Letak dari tulangan *tie bar* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Sambungan *Tie Bar* Pada Lajur Lalu Lintas
(Sumber: Fwa, 2006)

Ukuran batang pengikat dapat ditentukan dengan Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 dengan jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (3.9)$$

$$I = (38,3 \times \emptyset) + 75 \quad (3.10)$$

dengan:

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm^2)

b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)

h = Tebal pelat (m)

I = Panjang batang pengikat (mm)

\emptyset = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

3.7 Penggolongan Jenis Kendaraan

Bagian ini akan membahas mengenai penggolongan jenis kendaraan yang akan melewati ruas jalan tol. Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 2007 penggolongan kendaraan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Penggolongan Kendaraan

Golongan	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up, Truk Kecil, Mini Bus
Golongan II	Kendaraan dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Kendaraan dengan 3 (dua) gandar
Golongan IV	Kendaraan dengan 4 (dua) gandar
Golongan V	Kendaraan dengan 5 (dua) gandar atau lebih

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2007)

3.8 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode Bina Marga 2002

Bagian ini akan membahas mengenai parameter lalu lintas yang dibutuhkan dalam perancangan tebal perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 adalah sebagai berikut.

3.8.1 Umur Rancangan

Hardiyatmo (2015) menyatakan umur rancangan diperlukan dalam perancangan tebal perkerasan. Umur rancangan merupakan waktu dimana perkerasan diharapkan mempunyai kemampuan pelayanan sebelum dilakukan pekerjaan rehabilitasi atau kemampuan pelayanannya berakhir.

Pt.T-01-2002-B menyatakan umur rancangan jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak perkerasan jalan mulai dibuka untuk lalu lintas sampai saat diperlukan perbaikan kerusakan berat atau dianggap perlu dilakukan lapis permukaan baru. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana 20 tahun sampai 40 tahun.

3.8.2 Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menguraikan bahwa penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (kendaraan dengan berat total minimum 5 ton), 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.



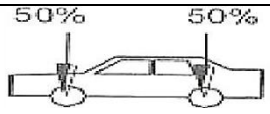
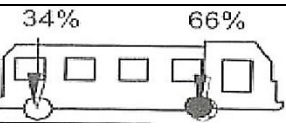
Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut.

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG)
3. Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
4. Sumbu *tridem* roda ganda (STrRG)

Suryawan (2009) menguraikan bahwa dari penggolongan kendaraan, bahwa jika akan melakukan kajian *vehicle damage factor* (VDF) dimana ada perbedaan standar sistem penggolongan tersebut, seringkali tidak begitu mudah untuk analisis lalu lintas, dapat di lihat dalam *traffic design* yang terkait erat pada hubungan antara golongan kendaraan – LHR – pertumbuhan lalu lintas – VDF, jika survei lalu lintas tidak sesuai dengan apa yang diinginkan, maka akan menyulitkan dalam analisisnya.



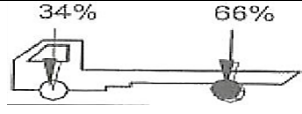
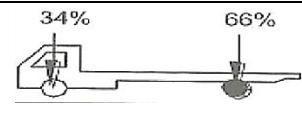

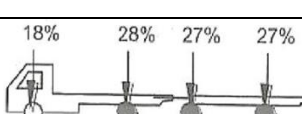
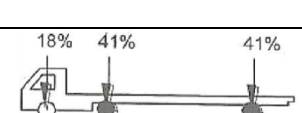
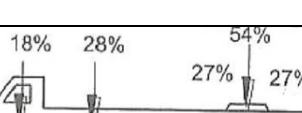
Konfigurasi beban as kendaraan yang digunakan sebagai perhitungan beban as masing-masing kendaraan seperti ditunjukkan Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Konfigurasi Beban As Kendaraan Menurut Manual Perkerasan Jalan dengan Alat *Benkelman Beam* No. 01/MN/BM/83

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muafan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	UE 18 KSAL Kosong	UE 18 KSAL Maksimum	 Roda tunggal pada ujungnya  Roda ganda pada ujungnya
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 Bus	3	6	9	0,0037	0,3006	

Sumber: Suryawan (2009)

**Lanjutan Tabel 3.4 Konfigurasi Beban As Kendaraan Menurut Manual
Perkerasan Jalan dengan Alat *Benkelman Beam* No. 01/MN/BM/83**

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	UE 18 KSAL Kosong	UE 18 KSAL Maksimum	 Roda tunggal pada ujungnya  Roda ganda pada ujungnya
1,2L Truk	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H Truk	4,2	14	18,2	0,0143	50,264	
1,22 Truk	5	20	25	0,0044	27,416	
1,2+2,2 Trailer	6,4	25	31,4	0,0085	39,083	
1,2-2 Trailer	6,2	20	26,2	0,0192	61,179	
1,2-2,2 Trailer	10	32	42	0,0327	101,83 0	

Sumber: Suryawan (2009)

3.8.3 Pertumbuhan Lalu Lintas

Dalam perancangan perkerasan jalan baru maka estimasi volume lalu lintas pada saat jalan dibuka pertama kali menjadi sangat penting, maka data survei lalu lintas dan jenis kendaraan menjadi sangat dibutuhkan. Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah 2002 menguraikan bahwa volume lalu lintas akan

bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 3.11.

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \quad (3.11)$$

dengan:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)

UR = Umur rencana (tahun)

Pertumbuhan lalu lintas dalam waktu tertentu (UR_m) yang lalu lintasnya tidak terjadi lagi, maka faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.12.

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} + (UR - UR_m)\{(1+i)^{UR_m} - 1\} \quad (3.12)$$

dengan:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (%)

UR = Umur rencana (tahun)

UR_m = Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai

3.8.4 Lajur Rencana Dan Koefisien Distribusi

Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah 2002 menguraikan bahwa lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas kendaraan niaga terbesar.

Jumlah sumbu kendaraan niaga dipengaruhi oleh koefisien distribusi kendaraan. Koefisien distribusi kendaraan ditentukan berdasarkan Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

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

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

3.8.5 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 (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002). Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan Persamaan 3.13.

$$\text{JSKN rencana} = \text{JSKNH} \times 365 \times R \times C \quad (3.13)$$

dengan:

JSKN rencana = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

JSKNH = Jumlah total sumbu kendaraan per hari pada saat jalan dibuka

R = Faktor pertumbuhan kumulatif yang besarnya bergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana

C = Koefisien distribusi kendaraan

3.8.6 Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menguraikan bahwa penentuan beban rencana diperoleh dengan mengalikan beban sumbu dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Faktor Keamanan Beban

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	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

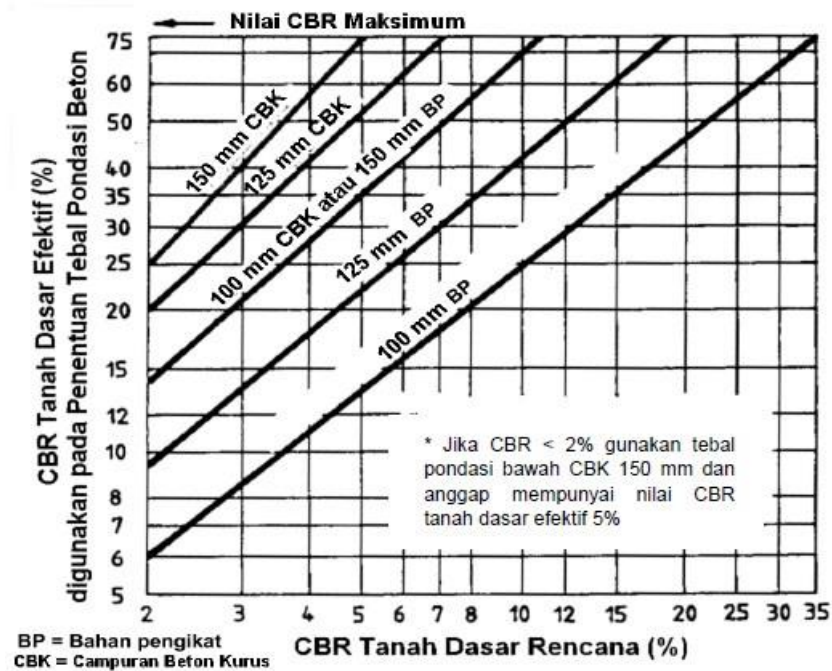
Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

3.8.7 Penentuan Nilai *CBR*

California Bearing Ratio (CBR) merupakan perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002).

Suryawan (2009) menyatakan *California Bearing Ratio (CBR)* dalam perencanaan perkerasan kaku digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar. *CBR* yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran 6% untuk lapis tanah dasar yang mengacu pada spesifikasi departemen pekerjaan umum edisi 2005. Tanah dasar dengan nilai *CBR* 4% dan 5% dapat digunakan setelah melalui kajian geoteknik. *CBR* kurang dari 6% dapat digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan, tetapi berpengaruh pada fungsi tebal perkerasan yang akan bertambah atau perlu penanganan khusus lapis tanah tersebut.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan bahwa untuk menentukan tebal perkerasan kaku salah satu parameternya adalah nilai *CBR* tanah dasar efektif. Penentuan nilai *CBR* tanah dasar efektif dapat ditunjukkan pada Gambar 3.18.

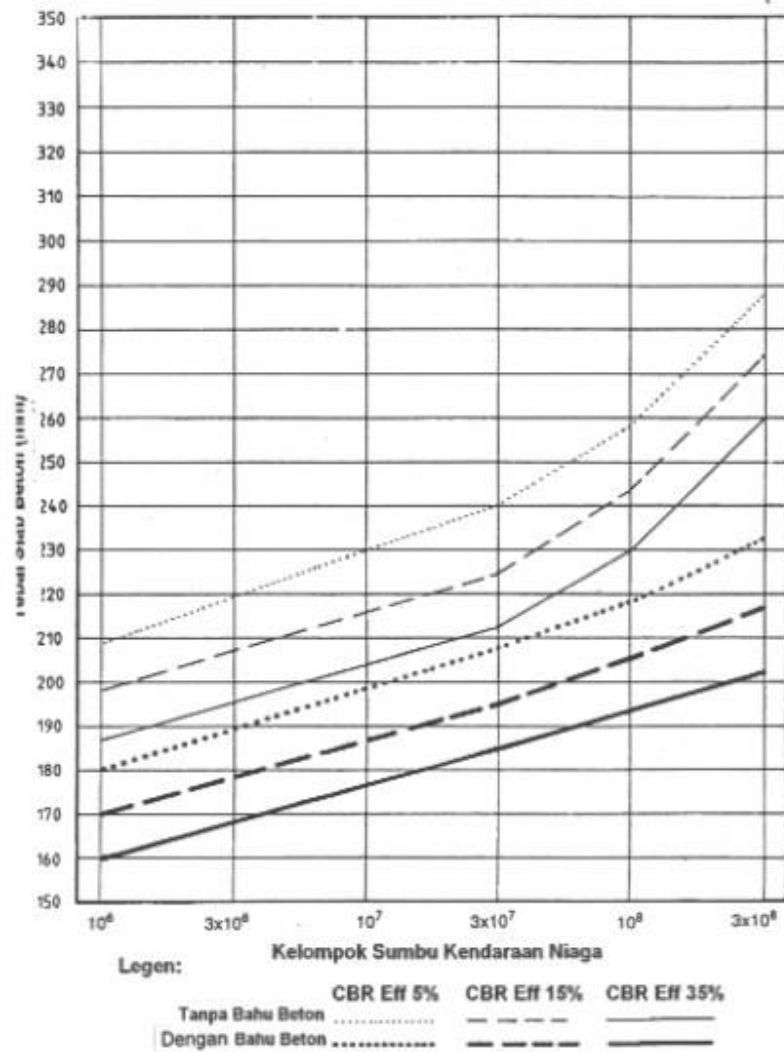


Gambar 3.18 CBR Tanah Dasar Efektif

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

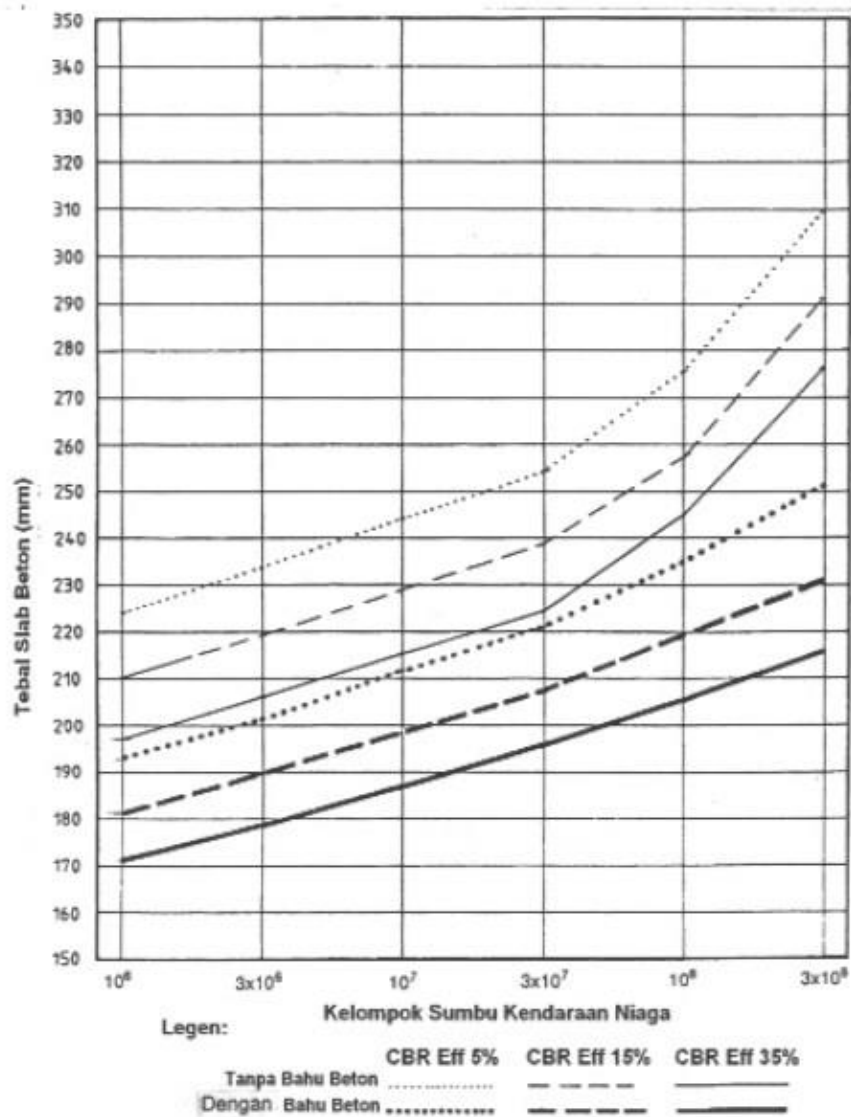
3.8.8 Penentuan Tebal Taksiran Pelat Beton Minimum

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyatakan bahwa penentuan tebal taksiran merupakan salah satu parameter penentuan tebal perkerasan kaku yang akan digunakan. Penentuan tebal taksiran akan berpengaruh pada kisaran tebal desain. Hasil kisaran tebal desain yang selanjutnya akan dianalisis terhadap fatik dan erosi. Penentuan tebal taksiran yang digunakan berdasarkan penggunaan jalan, ada tidaknya ruji dan faktor keamanan beban. Penentuan tebal taksiran seperti ditunjukkan pada Gambar 3.19, Gambar 3.20, Gambar 3.21, Gambar 3.22.



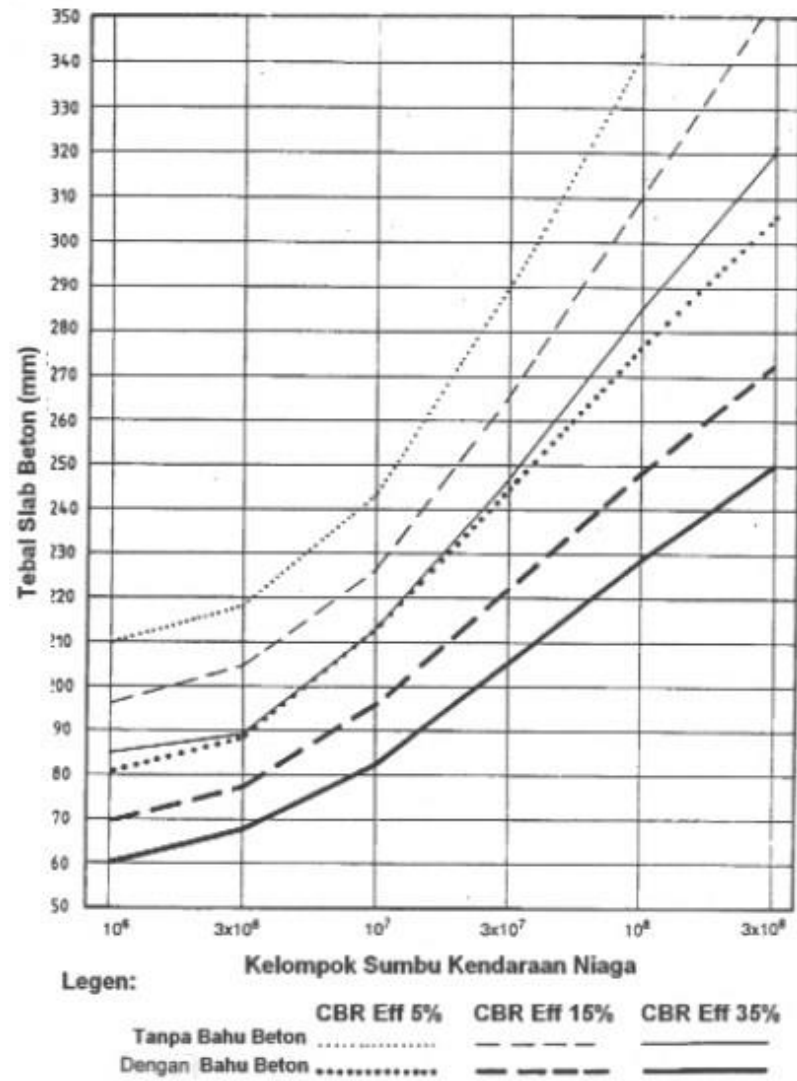
Gambar 3.19 Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, FKB 1,1

(Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002)



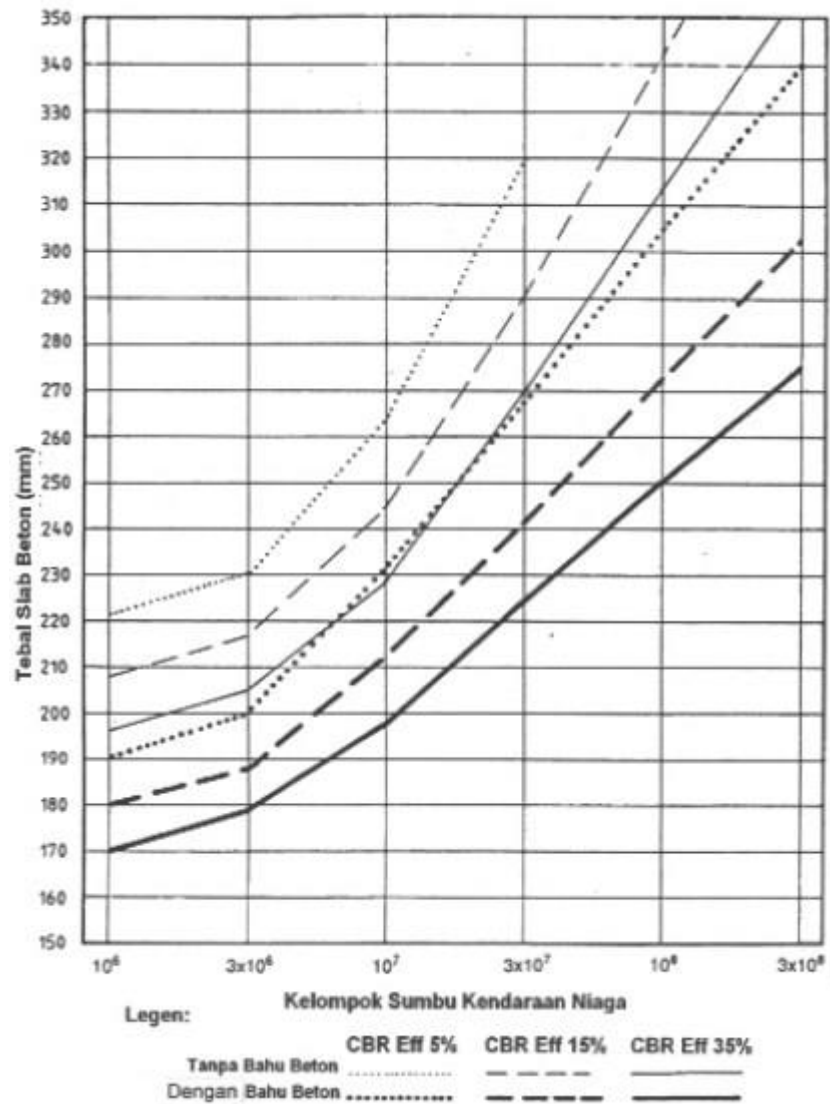
Gambar 3.20 Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, FKB 1,2

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.21 Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota Tanpa Ruji, FKB 1,1

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.22 Tebal Kisaran untuk Lalu Lintas Luar Kota Tanpa Ruji, FKB 1,2

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

3.8.9 Analisis Terhadap Fatik dan Erosi

Analisis fatik (kelelahan) merupakan analisis kegagalan perkerasan akibat beban yang berulang. Sedangkan analisis terhadap erosi adalah analisis kinerja perkerasan dengan adanya pengaruh dari bahu jalan. Penentuan nilai kuat lentur beton dapat di lihat pada Persamaan 3.14.

$$f_{cf} = K \times (f_c')^{0,5} \quad (3.14)$$

dengan:

f_{cf} = Kuat lentur beton 28 hari (MPa)

K = Konstanta 0,7 untuk agregat tidak pecah dan 0,75 untuk agregat pecah

f_c' = Kuat tekan beton 28 hari (MPa)

Penentuan faktor rasio tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.15.

$$\text{Faktor rasio tegangan (FRT)} = \frac{\text{Tegangan Ekuivalen (TE)}}{(f_{cf})} \quad (3.15)$$

Penentuan nilai proporsi beban dan proporsi sumbu dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.16 dan Persamaan 3.17.

$$\text{Proporsi beban} = \frac{\text{Jumlah sumbu tiap beban sumbu}}{\text{Jumlah sumbu total semua beban pada setiap jenis sumbu}} \quad (3.16)$$

$$\text{Proporsi sumbu} = \frac{\text{Jumlah sumbu total tiap jenis sumbu}}{\text{Total sumbu semua jenis sumbu}} \quad (3.17)$$

Penentuan beban rencana per roda pada sumbu dapat ditentukan dengan Persamaan 3.18, Persamaan 3.19, dan Persamaan 3.20.

Untuk beban rencana per roda pada sumbu tunggal roda tunggal (STRT)

$$\text{Beban rencana per roda (kN)} = \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{2} \quad (3.18)$$

Untuk beban rencana per roda pada sumbu tunggal roda ganda (STRG)

$$\text{Beban rencana per roda (kN)} = \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{4} \quad (3.19)$$

Untuk beban rencana per roda pada sumbu tandem roda ganda (STdRG)

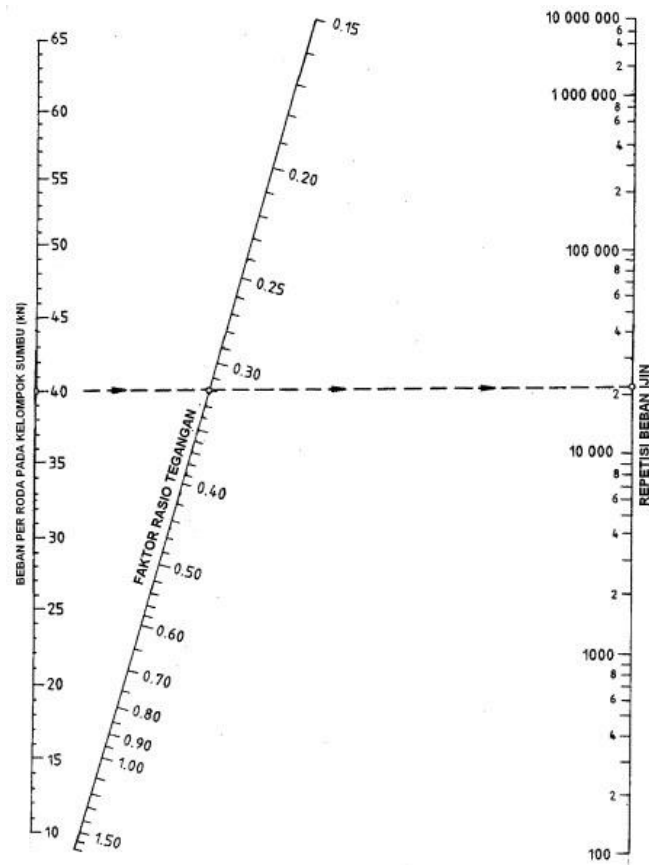
$$\text{Beban rencana per roda (kN)} = \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{8} \quad (3.20)$$

Untuk mengetahui repetisi (beban yang berulang) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.21.

$$\text{Repetisi yang terjadi} = \frac{\text{Proporsi beban} \times \text{Proporsi sumbu} \times \text{Lalu lintas rencana}}{\quad} \quad (3.21)$$

Nilai faktor tegangan dan erosi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam menentukan analisis fatik dan erosi. Penentuan nilai faktor tegangan dan erosi merujuk pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

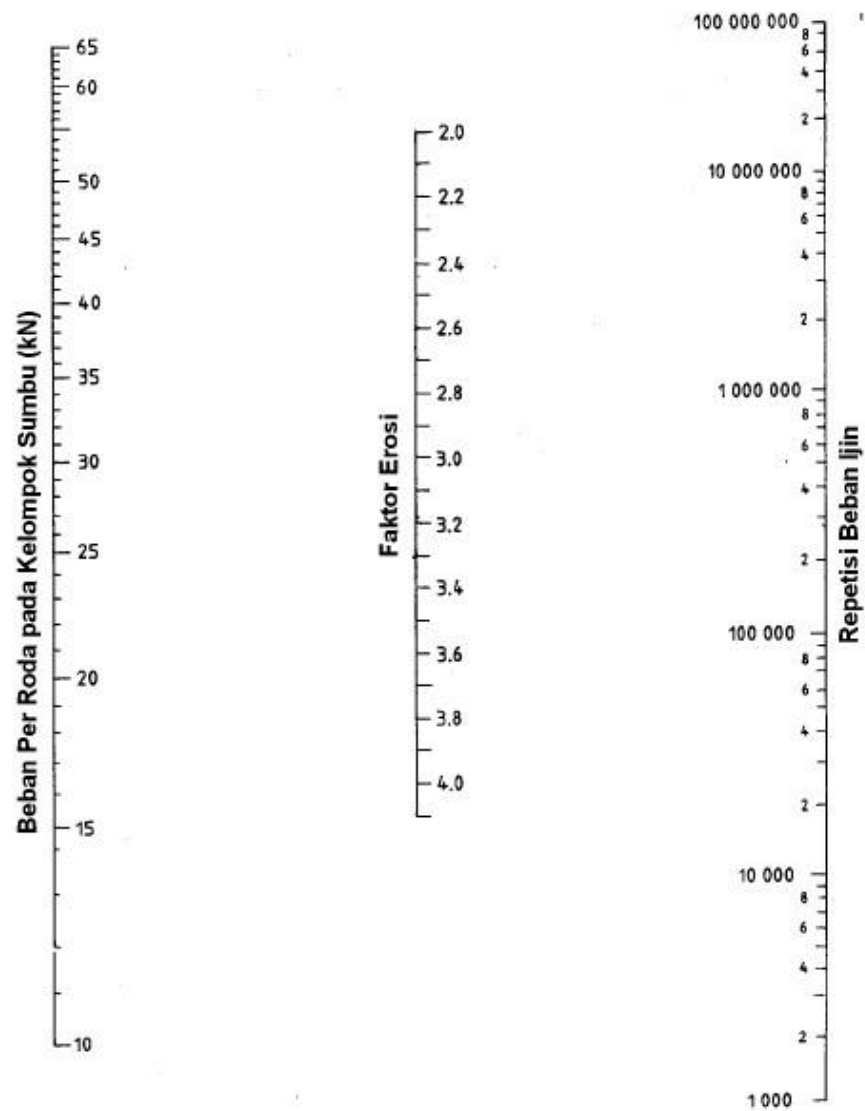
Nilai repetisi ijin analisis fatik ditentukan dengan nomogram yang dipengaruhi oleh faktor rasio tegangan dan beban per roda. Penentuan nilai repetisi ijin analisis fatik ditentukan berdasarkan nomogram pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan, Dengan/Tanpa Bahu Beton

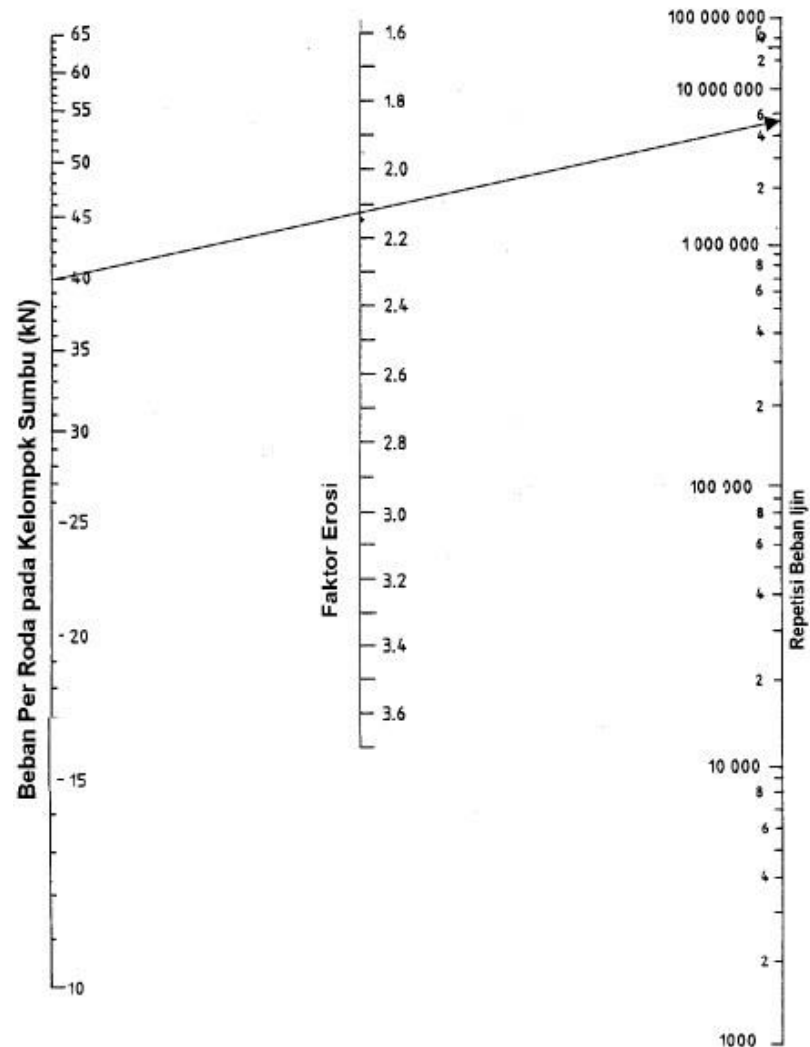
(Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002)

Nilai repetisi ijin analisis erosi ditentukan dengan nomogram yang dipengaruhi oleh faktor erosi dan beban per roda. Penentuan nilai repetisi ijin analisis erosi ditentukan dengan nomogram pada Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.



Gambar 3.24 Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton

(Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002)



Gambar 3.25 Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, dengan Bahu Beton

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

Penentuan nilai persen rusak analisis fatik dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.22.

$$\text{Persentasi rusak (\%)} = \frac{\text{Repetisi yang terjadi}}{\text{Repetisi ijin analisa fatik}} \times 100\% \quad (3.22)$$

Penentuan nilai persen rusak analisis erosi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.23.

$$\text{Persentasi rusak (\%)} = \frac{\text{Repetisi yang terjadi}}{\text{Repetisi ijin analisa erosi}} \times 100\% \quad (3.23)$$

3.8.10 Menentukan Ukuran Pelat Beton

Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan ukuran segmen pelat beton yaitu perbandingan antara lebar dan panjang pelat tidak lebih dari 1,25.

3.8.11 Penulangan

Perhitungan penulangan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku adalah sebagai berikut.

a) Penentuan Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

Sambungan memanjang dengan batang pengikat dimaksudkan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Ukuran batang dihitung dengan Persamaan 3.24.

$$l = (38,3 \times \emptyset) + 75 \quad (3.24)$$

dengan :

l = Panjang batang pengikat (mm)

\emptyset = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan jarak antar sambungan memanjang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 3 sampai 4 meter jarak batang pengikat yang digunakan adalah 750 mm.

b) Menentukan Sambungan Susut Melintang (Ruji)

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan untuk penentuan ukuran batang pengikat yang digunakan sesuai pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Diameter Ruji

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

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyarankan jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 sampai 5 meter yang harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 450 mm dengan jarak antar ruji 300 mm.

3.8.12 Penentuan Tebal Pondasi

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyatakan bahwa bahan pondasi bawah yaitu bahan berbutir, dan campuran beton kurus. Tebal lapis pondasi bawah minimum 10 cm dan mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan *AASHTO* M-155 serta SNI 03-1743-1989. Perkerasan beton bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK).

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2002 menyatakan material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-6388-2000. Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Ketebalan minimum lapis pondasi bawah dengan material berbutir dan tanah dasar dengan *CBR* minimum 5% adalah 15 cm. Sedangkan pondasi dengan campuran beton kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm^2) dengan tebal minimum 10 cm.

3.9 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993

Hardiyatmo (2015) menyatakan pertimbangan utama dalam perancangan perkerasan beton atau perkerasan kaku adalah kekuatan struktur betonnya. Perkerasan beton yang semakin tebal maka semakin mampu mendukung beban lalu lintas berat karena tulangan lentur yang bekerja di dalam beton berkurang. Perancangan perkerasan beton umumnya diasumsikan perkerasan akan melayani lalu lintas lebih dari 50000 selama masa pelayanan. Bagian ini akan membahas mengenai parameter perancangan tebal perkerasan kaku metode AASHTO 1993 sebagai berikut.

3.9.1 Umur Rancangan

AASHTO (1993) menyarankan umur perkerasan yang diistilahkan dengan periode analisis. Penentuan periode analisis sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan perencanaan. Penentuan umur rancangan sebagaimana yang ada pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Umur Rancangan Perkerasan

Kondisi Jalan Raya	Periode Analisis Umur Rancangan (tahun)
Perkotaan Volume Tinggi	30 - 50
Pedesaan Volume Tinggi	20 - 50
Volume Rendah, Jalan Diperkeras	15 - 25
Volume Rendah, Permukaan Agregat	10 - 20

Sumber: AASHTO (1993)

3.9.2 Faktor Distribusi Arah

AASHTO (1993) menyarankan untuk nilai faktor distribusi arah (D_D) diambil nilai antara 0,3 - 0,7.

3.9.3 Faktor Distribusi Lajur

Hardiyatmo (2015) menyatakan lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga terbesar. Untuk memfasilitasi adanya jalan yang terdiri dari beberapa lajur dalam satu arah maka diperlukan faktor distribusi lajur. Hal ini untuk menentukan volume lalu lintas rancangan di dalam lajur rencana.

AASHTO (1993) menyarankan jika arah kendaraan tidak teratur, maka perkerasan harus dirancang berdasarkan volume lalu lintas pada arah yang paling banyak. Penentuan faktor distribusi lajur yang digunakan sebagai parameter desain sebagaimana pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	DL (%)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Sumber: *AASHTO* (1993)

3.9.4 Penentuan Nilai CBR

Suryawan (2009) menyatakan *California Bearing Ratio (CBR)* dalam perencanaan perkerasan kaku digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar. *CBR* yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran 6% untuk lapis tanah dasar yang mengacu pada spesifikasi departemen pekerjaan umum edisi 2005. Tanah dasar dengan nilai *CBR* 4% dan 5% dapat digunakan setelah melalui kajian geoteknik. *CBR* kurang dari 6% dapat digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan, tetapi berpengaruh pada fungsi tebal perkerasan yang akan bertambah atau perlu penangan khusus lapis tanah tersebut.

3.9.5 Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

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

3.9.6 *Vehicle Damage Factor (VDF)*

Suryawan (2009) menguraikan dalam bagian ini mengenai kajian dan nilai-nilai *VDF* dari berbagai sumber yang semuanya tidak ada kesamaan nilainya, bahkan ada nilai yang berbeda sangat signifikan untuk jenis kendaraan yang sama. Nilai *VDF* diambil berdasarkan kajian Bina Marga dengan muatan sumbu terberat 10 ton dan berdasarkan NAASRA muatan sumbu terberat 10 ton.

Berdasarkan hasil *road test AASHTO* bahwa berat total kendaraan minimum yang dapat merusak perkerasan adalah setara 18 kips. Hal tersebut membuat kendaraan yang berat totalnya kurang atau lebih dari 18 kips harus di dikonversikan dalam beban 18 kips yaitu dengan menggunakan faktor beban gandar ekivalen.

Penentuan nilai *VDF* akan dipengaruhi konfigurasi tiap sumbu. Konfigurasi beban as kendaraan yang digunakan sebagai perhitungan beban as masing-masing kendaraan merujuk pada Tabel 3.4.

Nilai *VDF* yang dipengaruhi oleh konfigurasi tiap sumbu menyebabkan nilai faktor ekivalensinya tiap sumbu akan berbeda-beda. Nilai faktor ekivalensi tiap sumbu yang disarankan *AASHTO* 1993 merujuk pada Lampiran 3 sampai Lampiran 11.

3.9.7 Equivalent Single Axel Load (ESAL)

Suryawan (2009) menyatakan *traffic design* merupakan salah satu parameter lalu lintas yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan. Penentuan *traffic design* berdasarkan *AASHTO* 1993 dapat ditentukan dengan menggunakan Persaman 3.25.

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365 \quad (3.25)$$

dengan:

W_{18} = *Traffic design* pada lajur lalu lintas (ESAL)

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

VDF_j = *Vehicle Damage Factor* 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

Suryawan (2009) menguraikan lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini didapatkan dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada jalur rencana selama setahun (W_{18}) dengan besaran kenaikan lalu lintas (*traffic growth*) yang dapat di lihat pada Persamaan 3.26.

$$W_t = W_{18} + \frac{(1 + g)^n - 1}{g} \quad (3.26)$$

dengan:

W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif selama umur rancangan

W_{18} = Beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = Umur pelayanan atau umur rencana (tahun)

g = Perkembangan lalu lintas (%)

3.9.8 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Selesai pembangunan perkerasan jalan dan lalu lintas mulai dibuka dengan berjalannya waktu kemampuan pelayanan jalan semakin berkurang. *AASHTO* mengembangkan konsep penilaian kemampuan pelayanan (*serviceability rating*) yang dikaitkan dengan kerataan dan kemampuan pelayanan perkerasan yang dinyatakan dalam indeks kemampuan pelayanan sekarang (*Present Serviceability Index, PSI*). Tingkat penurunan pelayanan atau kerusakan perkerasan dinyatakan oleh kehilangan *PSI* pada suatu skala 0 sampai 5. Penilaian skala *PSI* dapat ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Skala *PSI*

Skala <i>PSI</i>	Kategori
0 – 1	Sangat Buruk
1 – 2	Buruk
2 – 3	Sedang
3 – 4	Baik
4 – 5	Sangat baik

Sumber: *AASHTO* (1993)

Kemampuan pelayanan awal (*Initial Serviceability*, P_o) bergantung pada tingkat kehalusan atau kerataan perkerasan awal. *AASHTO* (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku atau perkerasan beton nilai p_o yang dipakai adalah 4,5. Kemampuan pelayanan akhir (*Terminal Serviceability*, P_t) bergantung pada kekasaran atau ketidakrataan jalan yang masih memungkinkan untuk dilalui kendaraan sebelum dilakukan rehabilitasi. Perancangan tebal perkerasan membutuhkan pemilihan indeks kemampuan pelayanan awal dan akhir. *AASHTO* (1993) menyarankan nilai-nilai kemampuan pelayanan akhir (P_t) adalah sebagai berikut.

1. Jalan raya utama, nilai P_t adalah 2,5 atau 3
2. Jalan raya dengan lalu lintas rendah, nilai P_t adalah 2
3. Jalan raya relatif minor, nilai P_t adalah 1,5

Kehilangan kemampuan pelayanan total (*total loss of serviceability*) dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.27.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (3.27)$$

dengan:

ΔPSI = Kehilangan kemampuan pelayanan total

P_o = Kemampuan pelayanan awal

P_t = Kemampuan pelayanan akhir

3.9.9 Reliability (R)

Reliability menyatakan tingkat kemungkinan bahwa perkerasan yang dirancang akan tetap memuaskan selama masa pelayanan (Hardiyatmo, 2015). Nilai *reliability* yang lebih besar menunjukkan kinerja perkerasan yang lebih baik namun membutuhkan tebal perkerasan yang lebih tebal.

AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai *reliability* (R) yang digunakan dalam perancangan berbagai klasifikasi jalan. Penentuan nilai *reliability* akan berhubungan dengan penentuan nilai *standard normal deviate* (Z_R). Penentuan nilai *reliability* (R) ditunjukkan pada Tabel 3.11 dan penentuan nilai *standard normal deviate* (Z_R) ditunjukkan Tabel 3.12.

Tabel 3.11 Nilai Reliability (R)

Klasifikasi Jalan	Nilai Reliability (%)	
	Perkotaan	Pedesaan
Jalan Bebas Hambatan	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteri	80 - 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Sumber: AASHTO (1993)

Tabel 3.12 Standard Normal Deviate (ZR)

Reliability (%)	Standard Normal Deviate (ZR)
50	0,000
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0.674
80	- 0.841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

Sumber: AASHTO (1993)

3.9.10 Deviasi Standar Keseluruhan (So)

Hardiyatmo (2015) menyatakan deviasi standar keseluruhan (So) merupakan parameter yang digunakan untuk memperhitungkan adanya variasi dari *input* data. Deviasi standar keseluruhan dipilih sesuai dengan kondisi lokal. AASHTO (1993) menyarankan nilai deviasi standar keseluruhan (So) untuk

perkerasan kaku di antara 0,30 - 0,40. Nilai deviasi standar keseluruhan (S_o) yang umum digunakan yaitu 0,35.

3.9.11 Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

Modulus reaksi tanah dasar (k) menggunakan gabungan formula dan grafik penentuan modulus reaksi tanah dasar berdasar ketentuan *CBR* tanah dasar. *AASHTO* (1993) menyarankan penentuan nilai *modulus of subgrade reaction* (k) dapat ditentukan dengan Persamaan 3.28 dan Persamaan 3.29.

$$MR = 1500 \times CBR \quad (3.28)$$

$$k = \frac{MR}{19,4} \quad (3.29)$$

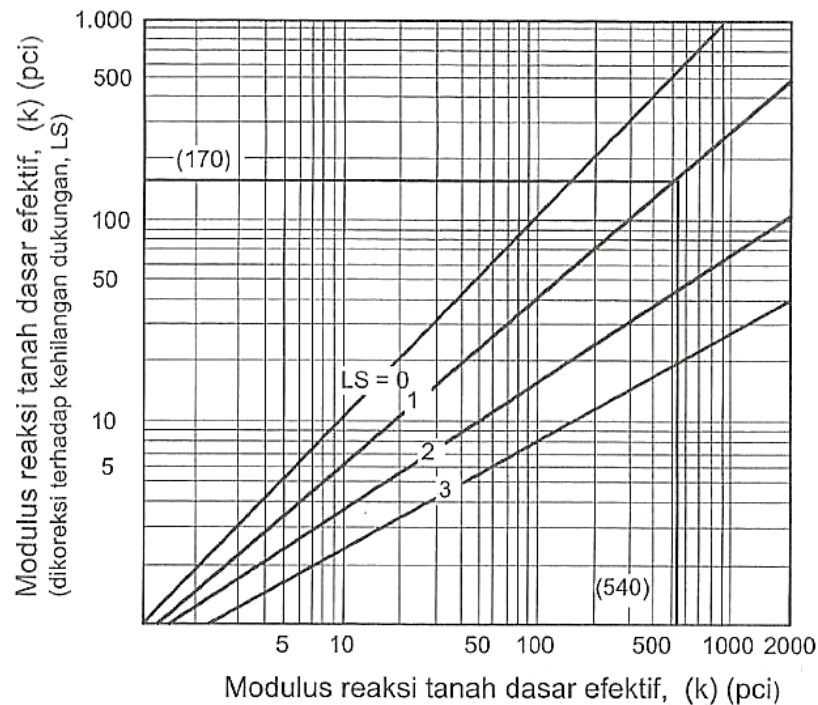
dengan:

MR = *Modulus resilient*

CBR = *California Bearing Ratio*

k = *Modulus of subgrade reaction*

Modulus reaksi tanah dasar yang didapat dari formula kemudian dikoreksi terhadap kehilangan dukungan lapis pondasi untuk mendapat modulus reaksi tanah efektif. Penentuan modulus reaksi tanah dasar efektif dapat ditentukan menggunakan Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi Bawah
(Sumber: AASHTO, 1993)

Modulus reaksi tanah dasar efektif dipengaruhi oleh faktor kehilangan dukungan yang didasarkan pada potensi erosi material pondasi bawah. Faktor kehilangan dukungan (*loss of support factors*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Loss of Support Factors (LS)

No	Type Material	LS
1	Cement treated granular base (E = 1000000 - 2000000 psi)	0 - 1
2	Cement aggregate mixtures (E = 500000 - 1000000 psi)	0 - 1
3	Asphalt treated base (E = 350000 - 1000000 psi)	0 - 1
4	Bituminous stabilized mixtures (E = 40000 - 300000 psi)	0 - 1
5	Lime stabilized (E = 20000 - 70000 psi)	1 - 3
6	Unbound granular materials (E = 15000 - 45000 psi)	1 - 3
7	Fine grained / natural subgrade materials (E = 3000 - 4000 psi)	2 - 3

Sumber: AASHTO (1993)

3.9.12 Kualitas Drainase

Kinerja jangka panjang perkerasan sangat dipengaruhi oleh air yang mempengaruhi kekuatan struktur perkerasan. Hardiyatmo (2015) menyatakan perancangan dengan metode *AASHTO* 1993 diperlukan data kondisi kualitas drainase yang mempengaruhi kekuatan lapis perkerasan. Penentuan kualitas drainase dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal berikut.

1. Air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk ke dalam struktur perkerasan jalan.
2. Air dari samping jalan yang kemungkinan akan masuk ke struktur jalan dan muka air tanah yang tinggi di bawah tanah dasar.
3. Pendekatan waktu lamanya dan frekuensi hujan yang rata-rata terjadi hujan selama 3 jam per hari. Waktu 3 jam dapat diambil sebagai pendekatan dalam penentuan kualitas drainase sehingga pemilihan mutu drainase adalah baik untuk jalan tol dan sedang untuk jalan bukan jalan tol.

Penentuan kualitas drainase yang akan digunakan dalam desain perkerasan dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Air Tersingkir Dalam Waktu
Sangat Baik	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Buruk	1 bulan
Sangat Buruk	Air tidak mengalir

Sumber: *AASHTO* (1993)

3.9.13 Persentase Perkerasan Terkena Air

Hardiyatmo (2015) menyarankan untuk penentuan persentase struktur perkerasan dalam setahun terkena air sampai ke tingkat jenuh dinyatakan dalam Persamaan 3.30.

$$P_{\text{heff}} = \frac{T_j}{24} \times \frac{Th_{\text{rata-rata}}}{365} \times W_L \times 100 \quad (3.30)$$

dengan:

P_{heff} = Persentase hari efektif hujan dalam setahun yang akan mempengaruhi perkerasan (%)

T_j = Hujan rata-rata per hari (mm)

$Th_{\text{rata-rata}}$ = Jumlah rata-rata hari hujan per tahun (hari)

W_L = Faktor air hujan yang masuk ke pondasi jalan

Hujan yang terjadi menjadikan sebagian air akan berinfiltrasi ke struktur perkerasan. Persentase air yang berinfiltrasi masuk ke perkerasan ditentukan dalam Persamaan 3.31.

$$W_L = 1 - C \quad (3.31)$$

dengan:

W_L = Faktor air hujan yang masuk ke pondasi jalan

C = Koefisien pengaliran

Nilai koefisien pengaliran (C) yang digunakan dapat di lihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Koefisien Pengaliran (C)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan Beton Dan Jalan Aspal	0,70 - 0,95
2	Bahu Jalan:	
	a. Tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	b. Tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	c. Batuan masif keras	0,70 - 0,85
	d. Batuan masif lunak	0,60 - 0,75

Sumber: Direktorat Pekerjaan Umum (1990)

3.9.14 Koefisien Drainase (C_d)

Penentuan nilai koefisien drainase bergantung pada kualitas drainase yang mempertimbangkan air hujan atau air dari atas permukaan jalan yang akan masuk

ke dalam pondasi jalan, air dari samping jalan yang akan masuk ke pondasi jalan serta muka air tanah yang tinggi di bawah tanah dasar. Nilai koefisien drainase dapat di lihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Koefisien Drainase (Cd) untuk Perancangan Perkerasan Beton

Kualitas Drainase	Persentase Waktu Struktur Perkerasan Terkena Air			
	< 1 %	1 - 5%	5 - 25%	> 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
Sedang	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Buruk	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Sangat Buruk	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Sumber: AASHTO (1993)

3.9.15 Koefisien Penyaluran Beban (J)

Hardiyatmo (2015) menyatakan koefisien transfer beban (J) adalah faktor yang digunakan dalam perancangan perkerasan kaku untuk memperhitungkan kemampuan struktur beton dalam mentransfer atau mendistribusikan beban yang melintas di atas sambungan atau retakan. Nilai transfer beban yang dapat digunakan sebagai pendekatan yaitu untuk sambungan dengan *dowel* sebesar 2,5 - 3,1.

AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku bersambungan tanpa dilengkapi alat transfer beban pada sambungannya maka direkomendasikan nilai transfer beban sebesar 3,8 - 4.

Nilai koefisien transfer beban (J) yang digunakan sebagai parameter desain dapat di lihat pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Koefisien Transfer Beban (J)

Bahu Jalan	Aspal		Pelat Beton Semen Portland Terikat	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Alat Transfer Beban				
Tipe Perkerasan:				
1. Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP) dan Bertulang Bersambungan (JRCP)	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
2. Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu (CRCP)	2,9 - 3,2	Tidak Ada	2,3 - 2,9	Tidak Ada

Sumber: AASHTO (1993)

3.9.16 Penentuan Tebal Pelat Beton (D) dengan Formulasi

Penentuan tebal perkerasan pelat beton dalam perancangan perlu dipilih kombinasi yang paling optimum/ekonomis dari tebal pelat beton dan lapis pondasi. AASHTO (1993) menentukan tebal perkerasan beton dapat ditentukan dengan Persamaan 3.32.

$$\begin{aligned}
 \log_{10} (W_{18}) = & Z_R S_o + 7,35 \log_{10} (D + 1) - 0,06 \\
 & + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \\
 & \times \log_{10} \frac{S_c' C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 J + \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0,25}} \right]}
 \end{aligned} \tag{3.32}$$

dengan:

W₁₈ = Lalu lintas rancangan (ESAL)Z_R = Deviasi standar normalS_o = Standar deviasi keseluruhan

D = Tebal pelat beton (inchi)

ΔPSI = Kehilangan kemampuan pelayanan = $P_o - P_t$

P_o = Indeks kemampuan pelayanan awal

P_t = Indeks kemampuan pelayanan akhir

Sc' = Kuat lentur beton (psi)

Cd = Koefisien drainase

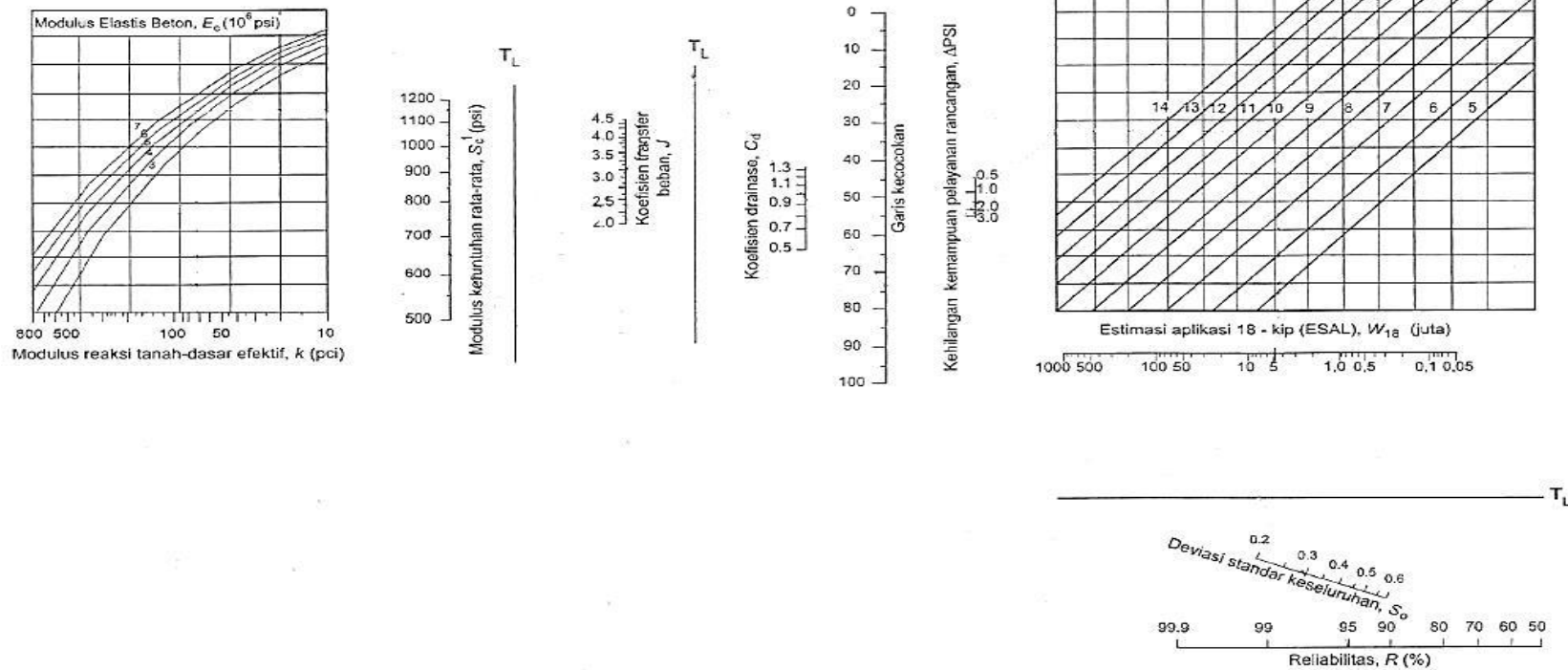
J = Koefisien transfer beban

E_c = Modulus elastisitas beton

k = Modulus reaksi tanah dasar (pci)

3.9.17 Penentuan Tebal Pelat Beton (D) dengan Nomogram AASHTO 1993

Penentuan tebal pelat selain menggunakan formulasi dapat juga ditentukan dengan menggunakan nomogram. Penentuan tebal pelat menggunakan nomogram parameter yang digunakan sama seperti tebal pelat menggunakan formulasi. Parameter yang digunakan yaitu modulus reaksi tanah dasar efektif (k), modulus elastisitas beton (E_c), kuat lentur beton (Sc'), koefisien transfer beban (J), koefisien drainase (Cd), kehilangan kemampuan pelayanan (ΔPSI), standar deviasi keseluruhan (S_o), *reliability* (R), dan lalu lintas rancangan (W_{18}). Penentuan tebal perkerasan dapat di lihat menggunakan Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Penentuan Tebal Pelat dengan Nomogram Menurut AASHTO 1993
 (Sumber: AASHTO. 1993)

3.9.18 Menentukan Ukuran Segmen Pelat Beton

Ukuran segmen pelat sangat dipengaruhi oleh banyak hal, seperti tebal pelat, lebar *joint*, ukuran sambungan memanjang, dan ukuran sambungan melintang. *AASHTO* 1993 menyarankan penentuan ukuran segmen pelat beton sebagai berikut.

- a. Panjang pelat (feet) = 2 x Tebal pelat (inchi) (3.33)
- b. Perbandingan antara lebar dan panjang pelat tidak lebih dari 1,25.

3.9.19 Penulangan

Perhitungan penulangan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku ruas tol Colomadu-Karanganyar adalah sebagai berikut.

1) Perhitungan *Tie Bars*

Penentuan *tie bars* yang digunakan dapat menggunakan Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Penentuan Ukuran *Tie Bar*

Jenis dan Mutu Baja	Tegangan Kerja (psi)	Tebal Perkerasan (in)	Diameter Batang 1/2 in				Diameter Batang 5/8 in			
			Panjang (in)	Jarak <i>Maximum</i> (in)			Panjang (in)	Jarak <i>Maximum</i> (in)		
				Lebar Lajur 10 ft	Lebar Lajur 11 ft	Lebar Lajur 12 ft		Lebar Lajur 10 ft	Lebar Lajur 11 ft	Lebar Lajur 12 ft
Grade 40	30000	6	25	48	48	48	30	48	48	48
		7	25	48	48	48	30	48	48	48
		8	25	48	44	40	30	48	48	48
		9	25	48	40	38	30	48	48	48
		10	25	48	38	32	30	48	48	48
		11	25	35	32	29	30	48	48	48
		12	25	32	29	26	30	48	48	48

Sumber: Literatur UI dalam Suryawan (2009)

2) Menentukan *Dowel*

Sambungan susut melintang atau yang umum disebut dengan ruji (*dowel*), digunakan untuk penanggulangan susut dalam arah melintang pelat, namun ruji tersebut harus mampu untuk memikul beban lalu lintas yang melakukan perpindahan atau pergerakan dari akhir ujung pelat yang satu ke awal ujung pelat yang lain dalam arah memanjang jalan. Pemasangan diletakkan ditengah-tengah tebal pelat beton. Menentukan diameter tulangan dapat ditunjukkan dalam Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Diameter dan Jarak *Dowel* (Yoder dan Witczak, 1975)

Tebal pelat beton (D)		Diameter <i>Dowel</i>	
Inchi	mm	Inchi	mm
6	150	$\frac{3}{4}$	19
7	175	1	25
8	200	1	25
9	225	$1\frac{1}{4}$	32
10	250	$1\frac{1}{4}$	32
11	275	$1\frac{1}{4}$	32
12	300	$1\frac{1}{2}$	38
13	325	$1\frac{1}{2}$	38
14	350	$1\frac{1}{2}$	38
<ul style="list-style-type: none"> • Jarak <i>dowel</i> 300 mm • Panjang <i>dowel</i> 450 mm 			

Sumber: Hardiyatmo (2015)

3.9.20 Penentuan Lapis Pondasi

Penentuan lapis pondasi minimum yang disarankan oleh *AASHTO* 1993 adalah sebesar 4 inchi atau sebesar 10 cm. Sehingga tebal lapis pondasi atas yang digunakan dalam perencanaan sebesar 10 cm dengan bahan pondasi berupa campuran beton kurus (CBK) dan lapis pondasi bawah berupa lapis agregat kelas A dengan tebal sebesar 15 cm.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah beberapa tahapan yang harus dilakukan peneliti dalam membahas sebuah kasus atau fenomena secara ilmiah untuk mendapatkan hasil yang rasional. Berdasarkan jenis metode penelitian, penelitian yang dilakukan penulis adalah penelitian komparatif (*ex post facto*) yaitu penelitian yang bersifat membandingkan. Objek dari penelitian ini adalah data tebal perkerasan kaku jalan tol. Tujuannya adalah untuk membandingkan tebal perkerasan dan parameter perencanaan *existing* dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002. Dalam mencapai tujuan yang dimaksud, maka perlu adanya beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan diantaranya pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan akan mengambil objek pada jalan tol Solo-Ngawi pada ruas Colomadu-Karanganyar Seksi 1 B (Sta. 1+ 100 s/d 2+ 100) terletak di Ngargorejo, Ngesrep, Kec. Ngemplak, Boyolali, Jawa Tengah. Ruas tol Colomadu-Karanganyar mempunyai panjang 21,06 km berdasarkan data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional V. Denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian Ruas Tol Colomadu-Karanganyar Seksi I B
(Sumber: Google Map, 2017)

4.3 Tahapan Penelitian

Tahapan sebuah penelitian dalam menyelesaikan kasus dari suatu objek penelitian yaitu pengumpulan data, metode yang digunakan untuk analisis data, dan kerangka kerja yang akan dilakukan dalam pengolahan data, pembahasan dan penarikan kesimpulan serta saran.

4.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian dapat dilakukan dengan dua cara sebagai berikut.

a. Data primer

Data primer merupakan data yang diambil oleh peneliti secara langsung di lokasi tempat penelitian.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari laporan yang disusun oleh instansi terkait, hasil studi, maupun literatur lainnya yang digunakan dalam menunjang penelitian ini. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tebal struktur perkerasan jalan tol *existing*
2. Beban as kendaraan
3. Distribusi kendaraan
4. Penggolongan jenis kendaraan
5. Volume lalu lintas harian perencanaan
6. Prediksi pertumbuhan lalu lintas
7. Nilai *CBR* tanah dasar perencanaan
8. Nilai uji dari beton (kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas)
9. Data hujan tahunan perencanaan

4.3.2 Metode Analisis Data

Mengevaluasi sebuah perkerasan perlu dikaji dengan beberapa metode lain selain yang digunakan dalam sebuah perencanaan untuk menghasilkan sebuah tebal perkerasan yang efisien dan mampu digunakan selama umur rencana. Sehingga tebal perkerasan kaku menggunakan metode pada SKBI–2.3.28.1988 perlu dievaluasi dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002.

Evaluasi tebal perkerasan yaitu dengan menghitung parameter dari sebuah perkerasan dengan metode perencanaan tertentu yang dibandingkan dengan kondisi *existing* yang menggunakan metode pada SKBI–2.3.28.1988. Analisis tersebut menggunakan metode *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* 1993 dan metode Bina Marga 2002 (Pedoman XX 2002).

Berdasarkan hasil evaluasi dari kedua metode yang digunakan, kemudian dari hasil tersebut dibandingkan dengan kondisi *existing*. Hasil perbandingan tersebut berdasarkan segi tebal struktur perkerasan.

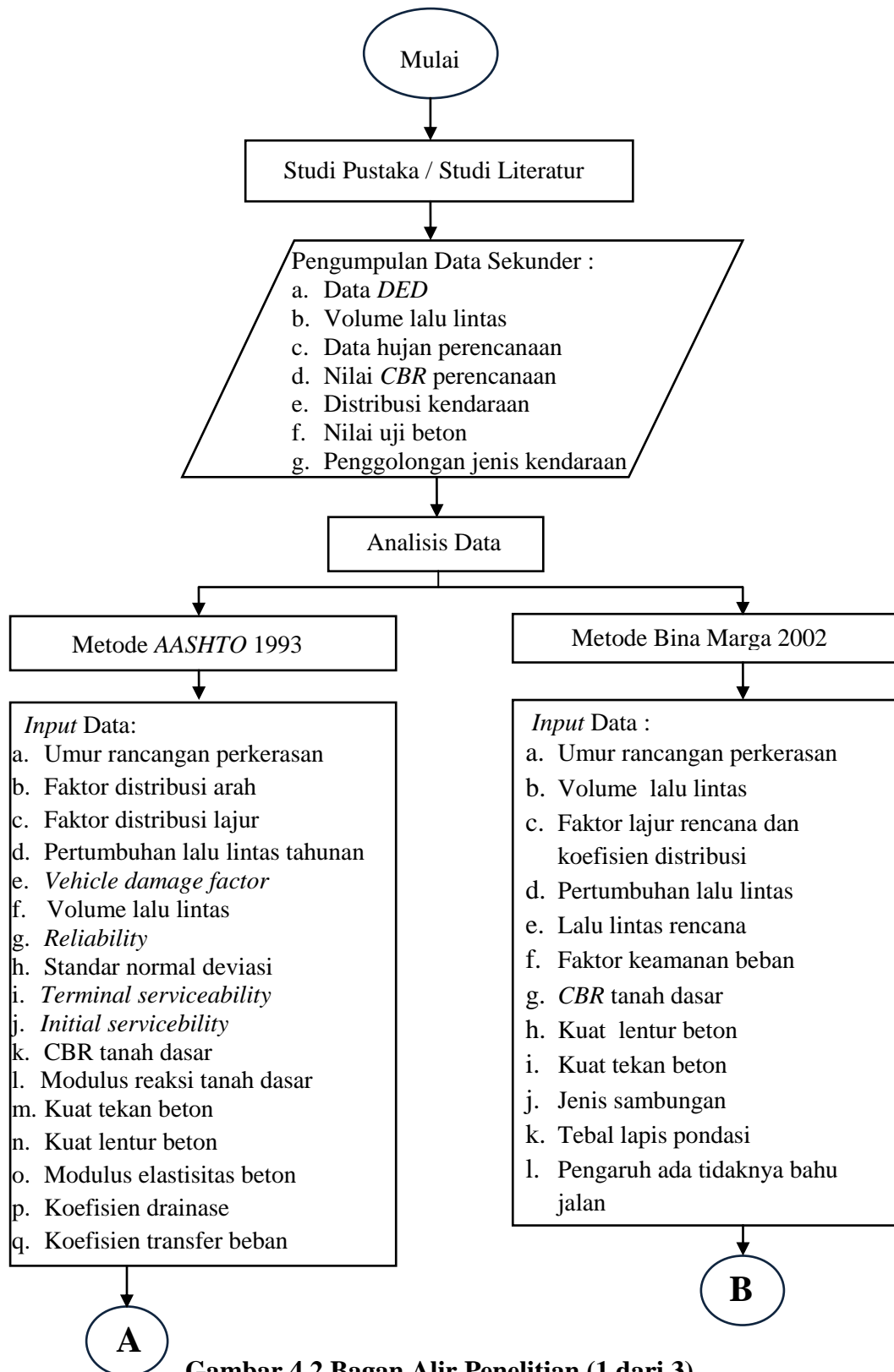
Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut.

- a. Mengumpulkan data dan hasil pada kondisi *existing*.
- b. Menggunakan data yang sama dengan kondisi *existing* dihitung ulang dengan metode *AASHTO* 1993.

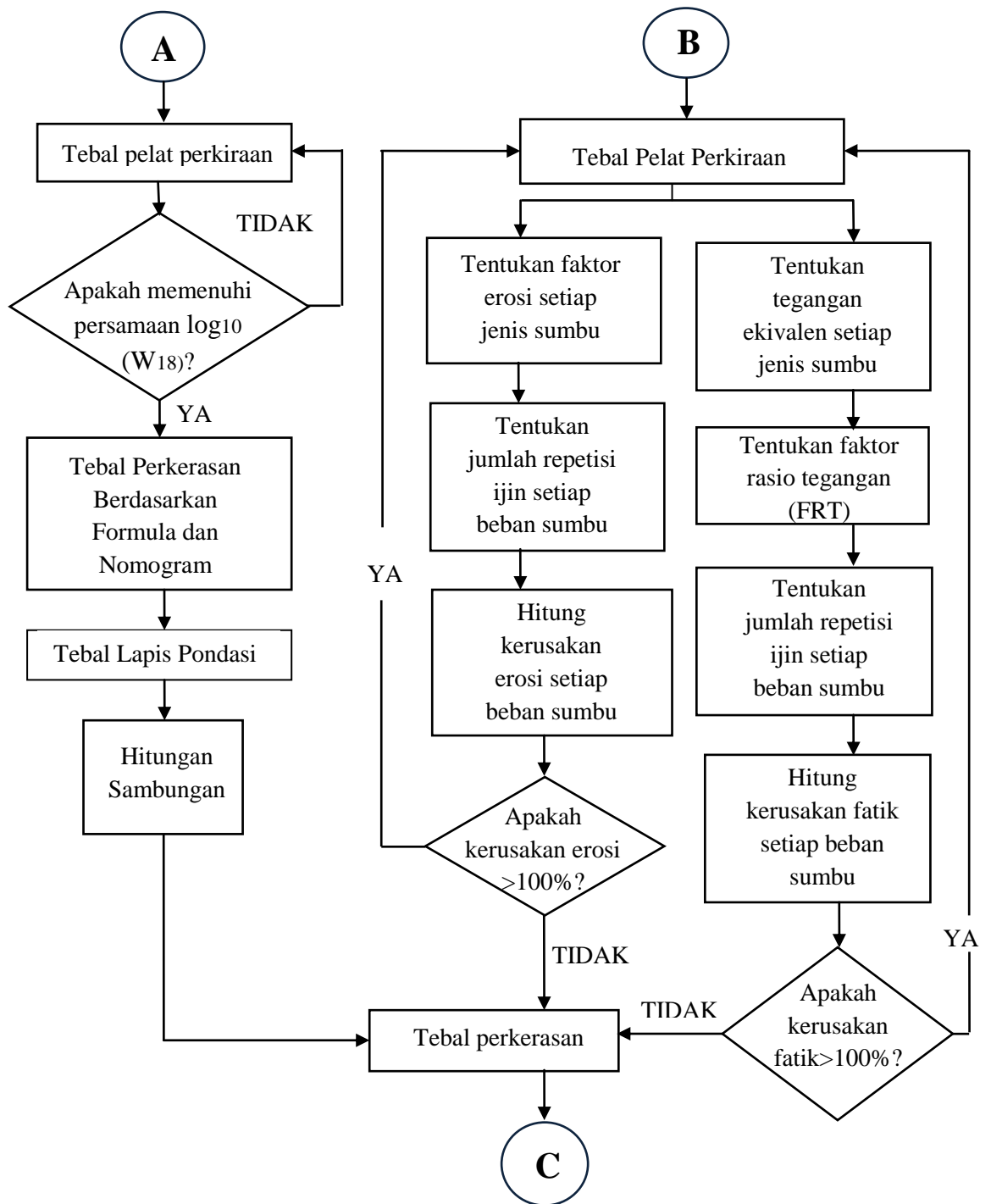
- c. Menggunakan data yang sama dengan kondisi *existing* dihitung ulang dengan metode Bina Marga 2002.
- d. Hasil perhitungan dari metode *AASHTO* 1993 dan Bina marga 2002 dibandingkan dengan kondisi *existing*, hasil yang didapat merupakan kebutuhan tebal perkerasan minimum yang dapat digunakan sebagai tebal pelat di lapangan.

4.3.3 Kerangka Penelitian

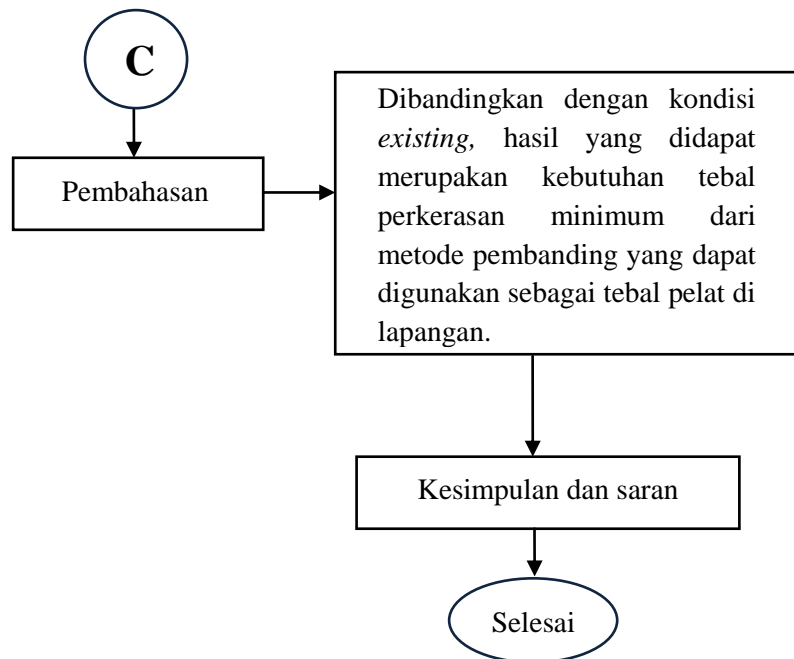
Kerangka proses penelitian dapat di lihat pada bagan alir sebagai berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian (1 dari 3)



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian (2 dari 3)



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian (3 dari 3)

BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN



5.1 Pengumpulan Data

Bagian ini membahas mengenai data-data yang dibutuhkan dalam perencanaan tebal perkerasan kaku Tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar. Data ini bersumber dari data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Berikut data-data yang digunakan untuk menentukan tebal perkerasan kaku Tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar.

5.1.1 Perhitungan Beban As Masing-Masing Kendaraan

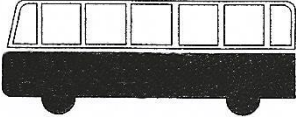
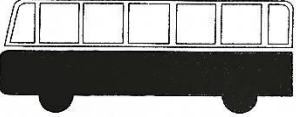

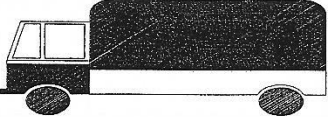
Jenis kendaraan yang diperoleh merupakan hasil dari pengujian jembatan timbang. Hasil pengujian jembatan timbang dibuat sama dengan penggolongan kendaraan pada jalan tol yaitu Golongan I, Golongan II, Golongan III, Golongan IV, Golongan V. Perhitungan beban as masing-masing kendaraan menggunakan formulasi pada konfigurasi beban as masing-masing kendaraan. Hasil perhitungan konfigurasi beban as kendaraan seperti ditunjukkan dalam distribusi beban as kendaraan, maka hasil perhitungan beban as masing-masing kendaraan yang akan digunakan sebagai parameter perencanaan ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Beban As Masing-Masing Kendaraan

Pickup (Gol.I)	 	
	Sedan, Jeep, Station Wagon,	
Beban Kendaraan (ton)	3,75	
Distribusi beban as	0,50	0,50
Beban as (ton)	1,875	1,875

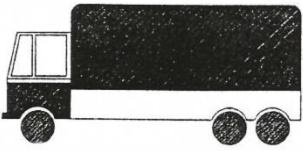
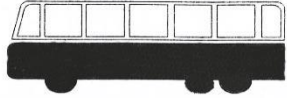
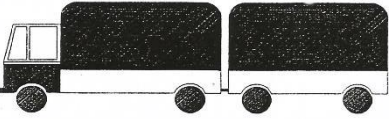

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

Lanjutan Tabel 5.1 Beban As Masing-Masing Kendaraan

Bus Ringan (Gol.I)	 Bus Ringan (BR 1.2)	
Beban Kendaraan (ton)	6,16	
Distribusi beban as	0,34	0,66
Beban as (ton)	2,094	4,066
Bus Besar (Gol.I)	 Bus Besar (BB 1.2)	
Beban Kendaraan (ton)	9,23	
Distribusi beban as	0,34	0,66
Beban as (ton)	3,138	6,094
Truk Ringan (Gol.II)	 Truk Ringan (TR 1.2)	
Beban Kendaraan (ton)	9,4	
Distribusi beban as	0,34	0,66
Beban as (ton)	3,196	6,204
Truk Berat (Gol.II)	 Truk Berat (TB 1.2)	
Beban Kendaraan (ton)	11,47	
Distribusi beban as	0,34	0,66
Beban as (ton)	3,899	7,570


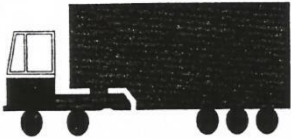

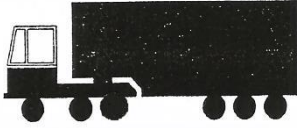
Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

Lanjutan Tabel 5.1 Beban As Masing-Masing Kendaraan

T 1.22 (Gol.III)	 T 1.22			
Beban Kendaraan (ton)	15,53			
Distribusi beban as	0,25	0,375	0,375	
Beban as (ton)	3,883	5,824	5,824	
BB 1.22 (Gol. III)	 Bus Besar (BB 1.22)			
Beban Kendaraan (ton)	12,8			
Distribusi beban as	0,25	0,375	0,375	
Beban as (ton)	3,200	4,800	4,800	
T 1.2-2.2 (Gol. IV)	 T 1.2 - 2.2			
Beban Kendaraan (ton)	29,29			
Distribusi beban as	0,18	0,24	0,24	0,24
Beban as (ton)	5,272	7,0296	7,0296	7,0296
T 1.2-22 (Gol. IV)	 T 1.2 - 22			
Beban Kendaraan (ton)	31,09			
Distribusi beban as	0,15	0,25	0,30	0,30
Beban as (ton)	4,664	7,773	9,327	9,327

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

Lanjutan Tabel 5.1 Beban As Masing-Masing Kendaraan

T 1.22-2 (Gol. IV)	 T 1.22 - 2					
Beban Kendaraan (ton)	30,50					
Distribusi beban as	0,15	0,30	0,30	0,25		
Beban as (ton)	4,575	9,150	9,150	7,625		
T 1.2-222 (Gol.V)	 T 1.2 - 222					
Beban Kendaraan (ton)	37,74					
Distribusi beban as	0,11	0,215	0,225	0,225	0,225	
Beban as (ton)	4,151	8,114	8,4915	8,4915	8,4915	
T 1.22-22 (Gol. V)	 T 1.22 - 22					
Beban Kendaraan (ton)	40,30					
Distribusi beban as	0,11	0,22	0,225	0,22	0,225	
Beban as (ton)	4,433	8,666	9,068	8,666	9,068	
T 1.22-222 (Gol. V)	 T 1.22 - 222					
Beban Kendaraan (ton)	45,50					
Distribusi beban as	0,09	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19
Beban as (ton)	4,095	7,735	7,735	8,645	8,645	8,645

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

5.1.2 Volume Lalu Lintas

Hasil *analysis traffic* yang dilakukan oleh *transport planner* pada ruas jalan Nasional/Provinsi menuju/keluar jalan bebas hambatan sekitar rencana tol Solo-Ngawi ruas Colomadu-Karanganyar ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Volume Lalu Lintas (kend/hari) Pada Tahun 2013

Golongan Kendaraan	Jumlah Kendaraan
Golongan I	5386
Golongan II	680
Golongan III	97
Golongan IV	53
Golongan V	28

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

5.1.3 Pertumbuhan Lalu Lintas

Pertumbuhan lalu lintas pada jalan tersebut dari tahun 2012 sampai 2017 ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Pertumbuhan Lalu Lintas Tahun 2012-2017

Tahun	%/Tahun
2012 - 2013	7
2014 - 2017	9

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

5.1.4 Distribusi Kendaraan yang Melintasi Jalan Tol Colomadu-Karanganyar

Distribusi volume lalu lintas dari golongan ke kelas kendaraan untuk ruas Tol Colomadu-Karanganyar seperti ditunjukkan Tabel 5.4. Distribusi kendaraan berdasarkan arah laju kendaraan yaitu normal dan *opposite*. Arah normal adalah arah laju kendaraan yang berasal dari Colomadu menuju Karanganyar, sedangkan arah *opposite* berasal Karanganyar dari menuju Colomadu. Data yang digunakan sebagai parameter desain merupakan data dari arah normal.

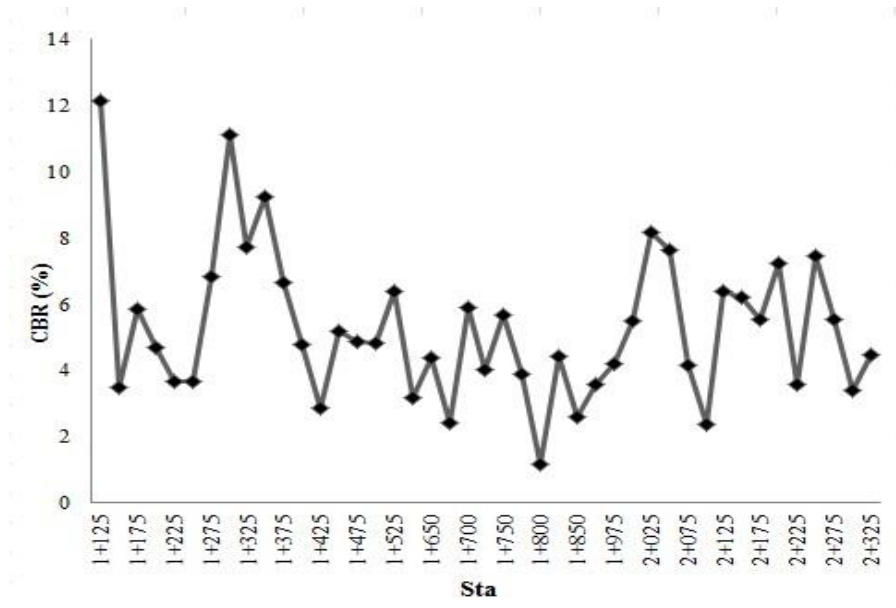
Tabel. 5.4 Distribusi Kendaraan Dari Golongan ke Jenis Kendaraan

Golongan Kendaraan	Distribusi Kendaraan (%)	Kode Kendaraan	Jenis Kendaraan	Colomadu-Karanganyar (kend/hari)	
				Normal	Opposite
I	89	SS 1.1	Sedan, Jeep, Station Wagon, Mini Bus	4793	4700
	2	BR 1.2	Bus Ringan	108	106
	9	BB 1.2	Bus Besar	485	475
II	82	TR 1.2	Truk Ringan	558	633
	18	TB 1.2	Truk Berat	122	139
III	96	T 1.22	Truk Tandem	96	195
	4	BT 1.22	Bus Tandem	1	2
IV	67	T 1.2 - 2.2	Truk Gandengan	35	12
	30	T1.2 - 22	Truk Trailer	16	5
	3	T 1.22 - 2	Truk Trailer	2	1
V	31	T 1.2 - 222	Truk Trailer	9	2
	13	T 1.22 - 22	Truk Trailer	4	1
	56	T 1.22 - 222	Truk Trailer	15	4

Sumber: Dinas Perhubungan Surakarta (2013)

5.1.5 CBR Tanah dasar

Data CBR dari uji dengan alat DCP diambil dari laporan hasil analisis lapangan sepanjang ruas Colomadu-Karanganyar seksi I B, adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Nilai CBR Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi 1 B
(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2016)

5.1.6 Data Hujan

Data hujan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Jumlah Hari Hujan per Tahun

No	Tahun	Hari Hujan (Hari)
1	2008	115
2	2009	124
3	2010	196
4	2011	151
5	2012	115
6	2013	145

Sumber: Badan Meteorologi Lanud Adi Soemarmo (2018)

Berdasarkan data jumlah hari hujan diperoleh rata-rata jumlah hari hujan per tahun adalah 141 hari. Untuk jam hujan per hari menggunakan 3 jam per hari merujuk pada subbab 3.9.12.

5.1.7 Data Uji Beton

Data beton yang digunakan sebagai perencanaan tebal perkerasan kaku seperti yang ditunjukkan Tabel 5.6.

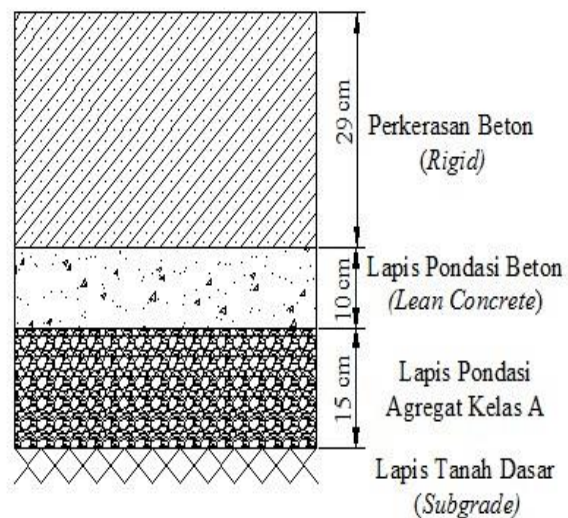
Tabel. 5.6 Data Uji Beton

Mutu Beton	Kuat tekan 28 hari (Kg/cm ²)	Kuat Lentur 28 hari (Kg/cm ²)
FS'45 / P	479	61
K 125 / E	187	-

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2016)

5.1.8 Tebal Perkerasan *Existing*

Tebal perkerasan kaku *existing* ditunjukkan pada Gambar 5.2. Tebal perkerasaan untuk lebih rinci dapat di lihat pada Lampiran 12.



Gambar 5.2 Tebal Perkerasan Perhitungan Kementerian Pekerjaan Umum

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2016)

5.2 Evaluasi Tebal Perkerasan dengan Metode AASHTO 1993

Dalam menentukan tebal perkerasan maka digunakan metode perencanaan perkerasan kaku antara lain sebagai berikut.

5.2.1 Perhitungan Perkerasan Kaku

Dalam menentukan tebal struktur perkerasan kaku metode AASHTO 1993 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Umur Rancangan

Berdasarkan Tabel 3.8 umur rancangan yang digunakan sebagai parameter perencanaan adalah 20 tahun.

2. Menentukan Tingkat Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

Nilai kemampuan pelayanan awal (*initial serviceability*, P_o) bergantung pada tingkat kehalusan atau kerataan perkerasaan awal, AASHTO 1993 menyarankan untuk perkerasan kaku nilai P_o sebesar 4,5.

Kemampuan pelayanan akhir (*terminal serviceability*, P_t) bergantung pada kekasaran atau ketidak-rataan jalan yang masih memungkinkan untuk dilalui kendaraan sebelum dilakukan rehabilitasi, AASHTO 1993 menyarankan nilai P_t untuk jalur utama sebesar 2,5.

Nilai kehilangan pelayanan total (*total loss of serviceability*) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta PSI &= P_o - P_t \\ &= 4,5 - 2,5 \\ &= 2 \end{aligned}$$

3. Menghitung Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton (f_c') yang diperoleh sesuai uji pada laboratorium sebesar 479 Kg/cm² sehingga nilai kuat tekan tersebut memenuhi syarat kuat tekan minimum sebesar 450 Kg/cm². Nilai kuat tekan (f_c') yang digunakan sebagai parameter desain adalah sebesar 450 Kg/cm² (6400,485 psi).

Modulus elastisitas beton (E_c) dan nilai kuat lentur (Sc') dihitung berdasarkan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$E_c = 57000 \sqrt{f_c'} = 57000 \times \sqrt{6400,485} = 4560356,236 \text{ psi}$$

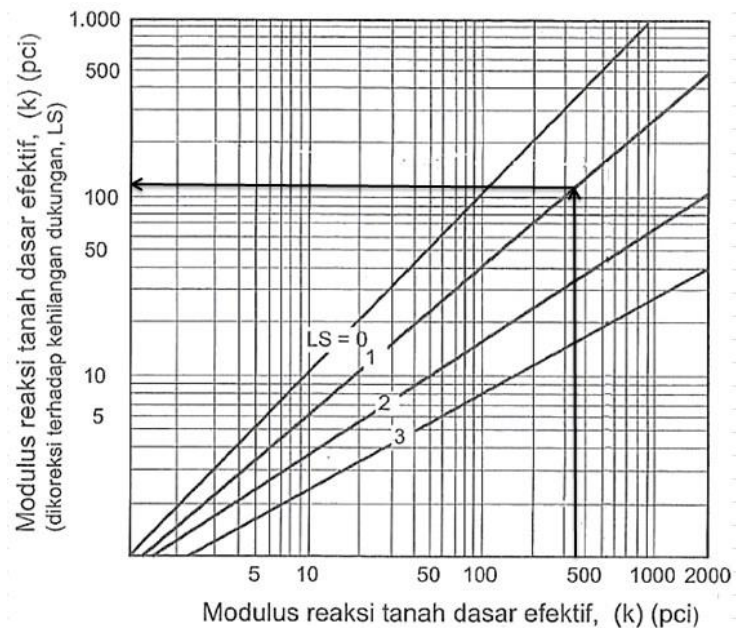
$$Sc' = 7,5 \sqrt{f_c'} = 7,5 \times \sqrt{6400,485} = 600 \text{ psi}$$

4. Menghitung Modulus Reaksi Tanah Dasar

Modulus reaksi tanah dasar dipengaruhi oleh nilai *CBR*. Nilai *CBR* yang diperoleh dari hasil uji *DCP* adalah lebih kecil dari 6%, sehingga tanah dasar harus diperbaiki untuk mencapai nilai *CBR* minimum sebesar 6% sesuai spesifikasi umum pekerjaan jalan 2010 revisi 3. *CBR* tanah dasar yang digunakan sebagai parameter desain adalah sebesar 6% dengan dukungan *subbase*. Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar efektif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.29 sebagai berikut.

$$k = \frac{MR}{19,4} = \frac{1500 \times CBR}{19,4} = \frac{1500 \times 6}{19,4} = 463,91 \text{ pci}$$

AASHTO 1993 mengembangkan cara yang teliti untuk memperhitungkan pengaruh tipe material dan tebal lapis pondasi. Untuk memperhitungkan pengaruh tersebut perlu diperhatikan faktor kehilangan dukungan (*loss of support factor, LS*) merujuk pada Tabel 3.13 dengan nilai elastisitas beton (E) sebesar 4560356,236 psi maka memenuhi syarat untuk menggunakan campuran agregat semen untuk pondasi bawah sehingga faktor kehilangan dukungan (*LS*) sebesar 1 dan nilai modulus reaksi tanah dasar efektif (k) sebesar 463,91 pci. Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar koreksi dapat ditentukan menggunakan Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi

Hasil yang didapat dari Gambar 5.3 adalah nilai modulus reaksi tanah dasar efektif (k) dikoreksi terhadap potensi kehilangan dukungan lapis pondasi adalah sebesar 130 pci.

5. Menentukan Nilai *Reliability* dan Nilai *Standart Normal Deviate* (Z_R)

Nilai *reliability* yang digunakan dalam parameter desain dapat merujuk pada Tabel 3.11. Jalan tol yang didesain termasuk pada daerah untuk transportasi antar kota (*rural*) sehingga digunakan nilai *reliability* sebesar 90% sebagai parameter desain seperti yang disarankan pada *AASHTO* 1993. Setelah ditentukan nilai *reliability* maka dapat ditentukan nilai *standart normal deviate* (Z_R) yang terdapat pada Tabel 3.12. Nilai *standart normal deviate* (Z_R) berdasarkan Tabel 3.12 dengan nilai *reliability* 90% adalah sebesar -1,282.

6. Menentukan Nilai Deviasi Standar Keseluruhan (S_o)

Deviasi standar keseluruhan (S_o) merupakan parameter yang digunakan untuk memperhitungkan adanya variasi dari *input* data. Deviasi standar keseluruhan yang disarankan *AASHTO* 1993 untuk perkerasan kaku diantara

0,30 - 0,40. Deviasi standar keseluruhan yang digunakan dalam desain adalah sebesar 0,35.

7. Menentukan Nilai Koefisien Drainase (Cd)

Dalam menghitung nilai koefisien drainase harus diketahui terlebih dahulu jumlah hari hujan per tahun. Adapun data untuk mencari koefisien drainase adalah sebagai berikut.

- Jumlah hari hujan rata-rata per tahun (T_h rata-rata) = 141 hari
- Jumlah jam hujan rata-rata per hari (T_j) = 3 jam hujan per hari
- Koefisien C merujuk pada Tabel 3.15.

Digunakan untuk desain perkerasan kaku, nilai C sebesar 0,8.

d. Menentukan Faktor Air Hujan

Menentukan faktor air Hujan (W_L) dapat dihitung dengan Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_L &= 100 - C \\ &= 100 - 80 \\ &= 20 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut digunakan untuk mencari persentase struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air dengan Persamaan 3.30 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \frac{T_h \text{ rata-rata}}{365} \times \frac{T_j}{24} \times W_L \times 100 \\ P &= \frac{141}{365} \times \frac{3}{24} \times 0,2 \times 100 \\ P &= 0,9658 \% < 1 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat digunakan angka persentase struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat *saturated* kurang dari 1%. Untuk menentukan besar koefisien drainase (Cd) nilai yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.16. Diperoleh nilai koefisien

drainase dengan menggunakan kualitas drainase golongan baik (*good*) sebesar 1,15-1,20. Nilai koefisien drainase (*Cd*) yang digunakan sebesar 1,15.

8. Menentukan Koefisien Transfer Beban

Koefisien transfer beban (*J*) yang disarankan *AASHTO* 1993 untuk perkerasan beton tak bertulang bersambungan (*JPCP*) dan bahu jalan berupa aspal dengan merujuk Tabel 3.17. Nilai koefisien transfer beban (*J*) yang digunakan sebesar 3,2.

9. Menghitung Volume Lalu Lintas Rencana

Menghitung volume lalu lintas sesuai umur rencana (W_{18}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.25. D_D adalah faktor arah, dimana faktor arah tersebut digunakan apabila pencacahan lalu lintas digunakan di dua arah serta pencacahannya dijumlahkan biasanya diambil antara 0,30 s/d 0,70. Faktor arah pada perencanaan ini digunakan nilai 0 karena pencacahan dilakukan dalam masing-masing arah. D_L adalah faktor lajur, dimana faktor lajur yang digunakan merujuk pada Tabel 3.9 maka nilai dari faktor lajur diambil sebesar 0,9.

LHR adalah jumlah lalu lintas harian rata-rata tahunan yang diperoleh dari hasil *analysis transport planning*. *VDF* (*vehicle damaging factor*) adalah faktor yang digunakan untuk perkerasan yaitu sesuai dengan yang merujuk pada Lampiran 3 sampai Lampiran 11.

AASHTO 1993 menyarankan tebal perkerasan perkiraan dari 6 inchi sampai 14 inchi. Berdasarkan simulasi perhitungan tebal perkerasan, tebal perkerasan 9 inchi, 10 inchi, dan 11 inchi merupakan tebal perkerasan yang mendekati tebal perkerasan minimum yang dapat digunakan dalam desain. Contoh perhitungan nilai *VDF* pada jenis kendaraan bus besar 1.2 sebagai berikut.

$$VDF = AX_1 + AX_2 = 0,0201 + 0,2940 = 0,3141 \text{ ESAL}$$

Perhitungan nilai *VDF* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7, Tabel 5.8, dan Tabel 5.9.

Tabel 5.7 Perhitungan VDF dengan Tebal Slab Rencana 9 Inchi

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Distribusi Beban As Kendaraan (Kips)				Faktor Ekuivalensi Beban Gandar (E)				Total Ekuivalensi
		AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	
Golongan I	Bus Besar 1.2	6,9180	13,4304	-	-	0,0201	0,2940	-	-	0,3141
Golongan II	Truk Ringan T1.2L	7,0459	13,6773	-	-	0,0215	0,3144	-	-	0,3359
	Truk Berat T1.2H	8,5975	16,6893	-	-	0,0469	0,7409	-	-	0,7874
Golongan III	Bus Besar 1.22	7,0547	21,1645	-	-	0,0216	0,2654	-	-	0,2869
	Truk 1.22	8,5593	25,6781	-	-	0,0459	0,5934	-	-	0,6393
Golongan IV	Truk Gandengan 1.2-2.2	11,6231	15,4975	15,4975	15,4975	0,1582	0,5379	0,5379	0,5379	1,7720
	Trailer 1.22-2	10,0860	40,3442	16,8101	-	0,0861	3,8794	0,7644	-	4,7298
	Trailer 1.2-22	10,2811	17,1353	41,1246	-	0,0952	0,8288	4,1955	-	5,1194
Golongan V	Trailer 1.2-222	9,1521	17,8884	56,1611	-	0,0608	0,9779	4,6856	-	5,7242
	Trailer 1.22-22	9,7730	39,0919	39,0919	-	0,0763	3,4176	3,4177	-	6,9116
	Trailer 1.22-222	9,0278	34,1052	57,1763	-	0,0577	1,9468	5,0358	-	7,0403

Tabel 5.8 Perhitungan VDF dengan Tebal Slab Rencana 10 Inchi

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Distribusi beban as kendaraan (Kips)				Faktor Ekuivalensi Beban Gandar (E)				Total Ekuivalensi
		AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	
Golongan I	Bus Besar 1.2	6,9180	13,4304	-	-	0,02010	0,29159	-	-	0,3117
Golongan II	Truk Ringan T1.2L	7,0459	13,6773	-	-	0,0215	0,3117	-	-	0,3332
	Truk Berat T1.2H	8,5975	16,6892	-	-	0,0466	0,7385	-	-	0,7852
Golongan III	Bus Besar 1.22	7,0547	21,1641			0,0216	0,2628	-	-	0,2844
	Truk 1.22	8,5593	25,6781	-	-	0,0457	0,5912	-	-	0,6369
Golongan IV	Truk Gandengan 1.2-2.2	11,6231	15,4975	15,4975	15,49746	0,15729	0,5349	0,5349	0,5342	1,7621
	Trailer 1.22-2	10,0860	40,3442	16,8101	-	0,0851	4,0197	0,7626	-	4,8674
	Trailer 1.2-22	10,2811	17,1353	41,12461	-	0,0942	0,8275	4,3592	-	5,2809
Golongan V	Trailer 1.2-222	9,1521	17,8884	56,16109	-	0,0602	0,9777	4,9004	-	5,9384
	Trailer 1.22-22	9,7730	39,0919	39,09197	-	0,0754	3,5295	3,5295	-	7,1344
	Trailer 1.22-222	9,0278	34,1052	57,17631	-	0,0572	1,9779	5,2811	-	7,3162

Tabel 5.9 Perhitungan VDF dengan Tebal Slab Rencana 11 Inchi

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Distribusi Beban As Kendaraan (Kips)				Faktor Ekuivalensi Beban Gandar (E)				Total Ekuivalensi
		AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	AX 1	AX 2	AX 3	AX 4	
Golongan I	Bus Besar 1.2	6,9180	13,4304	-	-	0,0201	0,2906	-	-	0,3107
Golongan II	Truk Ringan T1.2L	7,0459	13,6773	-	-	0,0215	0,3107	-	-	0,3322
	Truk Berat T1.2H	8,5975	16,6893	-	-	0,0463	0,7372	-	-	0,7835
Golongan III	Truk 1.22	8,5594	25,6781	-	-	0,0454	0,5902	-	-	0,6356
	Bus Besar 1.22	7,0547	21,1642	-	-	0,0216	0,2618	-	-	0,2834
Golongan IV	Truk Gandengan 1.2-2.2	11,623	15,4975	15,4975	15,4975	0,1563	0,5332	0,5332	0,5332	1,7558
	Trailer 1.22-2	10,0861	40,3442	16,8101	-	0,0841	4,0983	0,7614	-	4,9438
	Trailer 1.2-22	10,2812	17,1353	41,1246	-	0,0932	0,8266	4,4573	-	5,3772
Golongan V	Trailer 1.2-222	9,1522	17,8884	56,1611	-	0,0597	0,9776	5,0336	-	6,0709
	Trailer 1.22-22	9,7730	39,0919	39,0919	-	0,0746	3,5859	3,5859	-	7,2463
	Trailer 1.22-222	9,0278	34,1052	57,1763	-	0,0567	1,9889	5,4347	-	7,4803

W_{18} (ESAL) setahun umur rancangan dapat dicari menggunakan formula berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{18} \text{ pada jenis kendaraan bus besar 1.2} &= \text{LHR} \times \text{VDF} \times \text{Faktor Lajur} \times \text{Jumlah hari setahun} \\
 &= 485 \times 0,31412 \times 0,9 \times 365 \\
 &= 50046,3837
 \end{aligned}$$

Perhitungan W_{18} selengkapnya dapat di lihat pada Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12.

Tabel 5.10 Perhitungan W₁₈ dengan Tebal Slab Rencana 9 Inchi

Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari)	VDF	Faktor Lajur (DL)	Jumlah Hari Dalam Setahun	W ₁₈ (ESAL) Setahun Umur Rancangan
Bus Besar 1.2	485	0,3141	0,9	365	50046,3837
Truk Ringan T1.2L	558	0,3359	0,9	365	61571,4777
Truk Berat T1.2H	122	0,7874	0,9	365	31557,4313
Truk 1.22	96	0,6393	0,9	365	20162,2262
Bus Besar 1.22	1	0,2869	0,9	365	94,2762
Truk Gandengan 1.2-2.2	35	1,7721	0,9	365	20374,1449
Trailer 1.2-22	16	5,1195	0,9	365	26907,9869
Trailer 1.22-2	2	4,7299	0,9	365	3107,5115
Trailer 1.2-222	9	5,7243	0,9	365	16923,8634
Trailer 1.22-22	4	6,9116	0,9	365	9081,8818
Trailer 1.22-222	15	7,0404	0,9	365	34691,3246
Total					274518,5082

Tabel 5.11 Perhitungan W₁₈ dengan Tebal Slab Rencana 10 Inchi

Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari)	VDF	Faktor Lajur (DL)	Jumlah Hari Dalam Setahun	W ₁₈ (ESAL) Setahun Umur Rancangan
Bus Besar 1.2	485	0,3117	0,9	365	49659,2300
Truk Ringan T1.2L	558	0,3332	0,9	365	61080,2257
Truk Berat T1.2H	122	0,7852	0,9	365	31466,4566
Truk 1.22	96	0,6369	0,9	365	20085,2784
Bus Besar 1.22	1	0,2844	0,9	365	93,4287
Truk Gandengan 1.2-2.2	35	1,7621	0,9	365	20259,1699
Trailer 1.2-22	16	5,2809	0,9	365	27756,5155
Trailer 1.22-2	2	4,8674	0,9	365	3197,8752
Trailer 1.2-222	9	5,9383	0,9	365	17556,7909
Trailer 1.22-22	4	7,1344	0,9	365	9374,6279
Trailer 1.22-222	15	7,3162	0,9	365	36050,5262
Total					276580,1250

Tabel 5.12 Perhitungan W₁₈ dengan Tebal Slab Rencana 11 Inchi

Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari)	VDF	Faktor Lajur (DL)	Jumlah Hari Dalam Setahun	W ₁₈ (ESAL) Setahun Umur Rancangan
Bus Besar 1.2	485	0,3107	0,9	365	49499,9075
Truk Ringan T1.2L	558	0,3322	0,9	365	60896,9227
Truk Berat T1.2H	122	0,7835	0,9	365	31401,9326
Truk 1.22	96	0,6356	0,9	365	20044,9123
Bus Besar 1.22	1	0,2834	0,9	365	93,1002
Truk Gandengan 1.2-2.2	35	1,7558	0,9	365	20187,3105
Trailer 1.2-22	16	5,3772	0,9	365	28262,4055
Trailer 1.22-2	2	4,9438	0,9	365	3248,0832
Trailer 1.2-222	9	6,0709	0,9	365	17948,6750
Trailer 1.22-22	4	7,2463	0,9	365	9521,6382
Trailer 1.22-222	15	7,4803	0,9	365	36858,9319
Total					277963,8195

Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11 diperoleh nilai W₁₈ dalam 1 tahun. Lalu lintas yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana. Secara *numeric* rumusan lalu lintas kumulatif selama umur rencana dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.26. Hasil perhitungan beban gandar selama umur rancangan (W_t) adalah sebagai berikut.

Perhitungan W_t untuk tebal *slab* 9 inchi adalah sebagai berikut.

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

$$W_t = 274518,5082 \times \frac{(1+0,09)^{20} - 1}{0,09}$$

$$W_t = 14044399,72 \text{ ESAL}$$

Perhitungan W_t untuk tebal *slab* 10 inchi adalah sebagai berikut.

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

$$W_t = 276580,1250 \times \frac{(1+0,09)^{20} - 1}{0,09}$$

$$W_t = 14149872,28 \text{ ESAL}$$

Perhitungan W_t untuk tebal *slab* 11 inchi adalah sebagai berikut.

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

$$W_t = 277963,8195 \times \frac{(1+0,09)^{20} - 1}{0,09}$$

$$W_t = 14220662,26 \text{ ESAL}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan parameter *input* perencanaan tebal perkerasan kaku metode *AASHTO* 1993 dapat di lihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Parameter *Input* AASHTO 1993

No.	Parameter <i>Input</i>	Nilai <i>Input</i>
1.	Umur rencana	20 tahun
2.	<i>Traffic design</i> (W_{18})	14044399,72 <i>ESAL</i> untuk tebal <i>slab</i> 9 inchi, 14149872,28 <i>ESAL</i> untuk tebal <i>slab</i> 10 inchi, dan 14220662,26 <i>ESAL</i> untuk tebal <i>slab</i> 11 inchi.
3.	<i>Terminal serviceability</i> (P_t)	2,5
4.	<i>Initial serviceability</i> (P_o)	4,5
5.	<i>Seviceability loss</i> (ΔPSI)	2
6.	<i>Reliability</i> (R)	90 %
7.	<i>Standard normal deviation</i>	- 1,282
8.	<i>Standard deviation</i> (S_o)	0,35
9.	Modulus reaksi tanah dasar (k)	130 pci
10.	Kuat tekan (f_c')	450 kg/cm ²
11.	Modulus elastisitas beton (E_c)	4560356,236 psi
12.	Kuat Lentur (S_c)	600 psi

Lanjutan Tabel 5.13 Parameter *Input* AASHTO 1993

No.	Parameter <i>Input</i>	Nilai <i>Input</i>
13.	<i>Drainage coefficient</i> (Cd)	1,15
14.	<i>Load transfer coefficient</i> (J)	3,2
15.	D _{perkiraan}	9, 10, 11 inchi

Berdasarkan parameter *input* diatas dapat dimasukkan ke dalam Persamaan 3.32. Perhitungan untuk tebal masing-masing D_{perkiraan} adalah sebagai berikut.

Perhitungan untuk tebal *slab* 9 inchi adalah sebagai berikut.

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

$$+ (4,22 - 0,32Pt) * \log \left[\frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{216,63 * J \left[D^{0,75} \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0,25}} \right]} \right]$$

$$\text{Log } 14044399,72 = -1,282 * 0,35 + 7,35 * \log(9+1) - 0,06 + \frac{\log \left[\frac{2}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 * 10^7}{(9+1)^{8,46}}} +$$

$$(4,22 - (0,32 * 2,5)) * \log \left[\frac{600 * 1,175 [9^{0,75} - 1,132]}{216,63 * 3,2 \left[9^{0,75} \frac{18,42}{\left(\frac{4560356,236}{130} \right)^{0,25}} \right]} \right]$$

$$7,14750 = 6,74810$$

Perhitungan untuk tebal *slab* 10 inchi adalah sebagai berikut.

$$\text{Log } 14149872,28 = -1,282 * 0,35 + 7,35 * \log(10+1) - 0,06 + \frac{\log\left[\frac{2}{4,5-1,5}\right]}{1 + \frac{1,624 * 10^7}{(10+1)^{8,46}}}$$

$$(4,22 - (0,32 * 2,5)) * \log \left[\frac{600 * 1,175 [10^{0,75} - 1,132]}{216,63 * 3,2 \left[10^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{4560356,236}{130}\right)^{0,25}} \right]} \right]$$

$$7,15075 = 7,03944$$

Perhitungan untuk tebal *slab* 11 inchi adalah sebagai berikut.

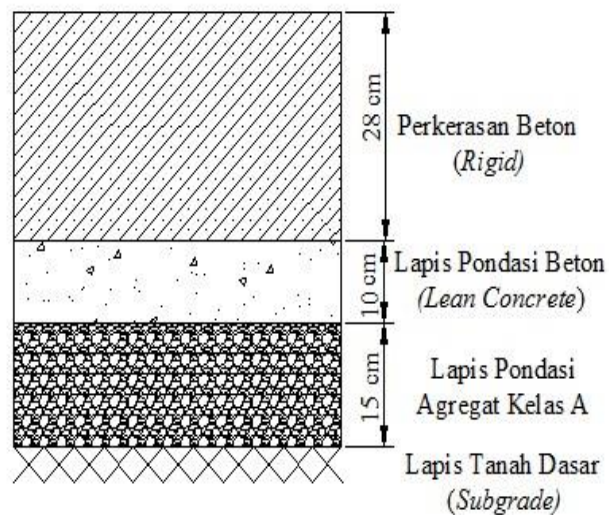
$$\text{Log } 14220662,26 = -1,282 * 0,35 + 7,35 * \log(11+1) - 0,06 + \frac{\log\left[\frac{2}{4,5-1,5}\right]}{1 + \frac{1,624 * 10^7}{(11+1)^{8,46}}}$$

$$(4,22 - (0,32 * 2,5)) * \log \left[\frac{600 * 1,175 [11^{0,75} - 1,132]}{216,63 * 3,2 \left[11^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{4560356,236}{130}\right)^{0,25}} \right]} \right]$$

$$7,15292 = 7,30867$$

Berdasarkan formulasi diatas dengan $D_{\text{perkiraan}}$ 9 inchi hasil dari perhitungan W_{18} selama umur rencana lebih besar dibandingkan hasil dari perencanaan tebal *slab* sebesar 9 inchi. Dari perhitungan $D_{\text{perkiraan}}$ 10 inchi hasil dari perhitungan W_{18} selama umur rencana lebih besar dibandingkan hasil dari perencanaan tebal *slab* sebesar 10 inchi. Sedangkan perhitungan $D_{\text{perkiraan}}$ 11 inchi hasil dari perhitungan W_{18} selama umur rencana lebih kecil dibandingkan hasil dari perencanaan tebal *slab* sebesar 11 inchi. Perhitungan yang digunakan jika perhitungan W_{18} selama umur rencana lebih kecil dibandingkan hasil dari perencanaan tebal *slab*. Dengan demikian $D_{\text{perkiraan}}$ 11 inchi digunakan untuk

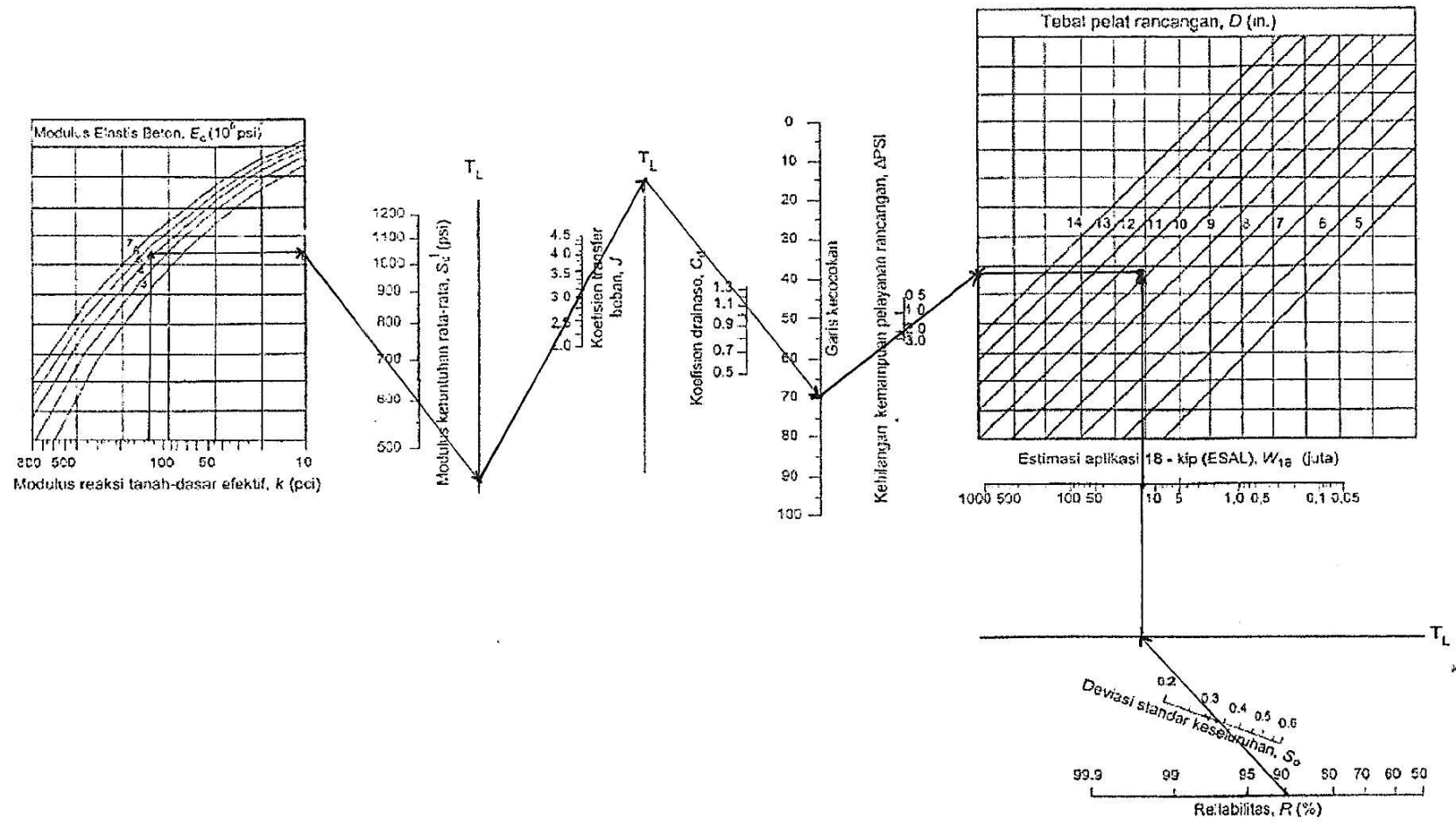
perencanaan karena hal tersebut telah memenuhi syarat maka digunakan tebal lapis beton (D) sebesar 11 inchi (27,94 cm dibulatkan menjadi 28 cm). Struktur tebal perkerasan kaku metode *AASHTO* 1993 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 Menggunakan Formulasi

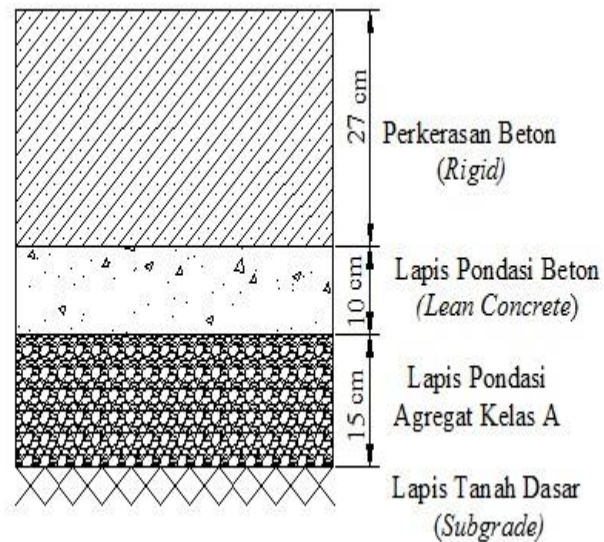
10. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Menggunakan Nomogram

Perhitungan tebal perkerasan dengan metode *AASHTO* 1993 selain menggunakan formula dapat juga menggunakan nomogram. Penentuan tebal perkerasan kaku menggunakan nomogram dapat ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Penentuan Tebal Perkerasan Menggunakan Nomogram AASTHO 1993

Dari hasil penentuan tebal perkerasan menggunakan nomogram tebal *slab* (*D*) yang diperoleh sebesar 10,5 inci (26,67 cm dibulatkan menjadi 27 cm). Struktur tebal perkerasan kaku metode *AASHTO* 1993 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Tebal Perkerasan Metode *AASHTO* 1993 Menggunakan Nomogram

5.2.2 Penentuan Lapis Pondasi

Penentuan lapis pondasi minimum yang disarankan oleh *AASHTO* 1993 adalah sebesar 4 inci atau sebesar 10 cm untuk lapis pondasi. Sehingga tebal lapis pondasi atas yang digunakan dalam perencanaan sebesar 10 cm dengan bahan pondasi berupa campuran beton kurus (CBK) dan lapis pondasi bawah berupa lapis agregat kelas A dengan tebal sebesar 15 cm.

5.2.3 Menentukan Segmen Pelat Beton

Penentuan ukuran segmen pelat yang disarankan *AASHTO* 1993 sesuai dengan Persamaan 3.33. Sehingga dalam kasus jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar perhitungan ukuran segmen adalah sebagai berikut.

Tebal pelat yang digunakan adalah 28 cm (11 inchi)

$$\begin{aligned}\text{Panjang pelat maksimum} &= 2 \times 11 \text{ inchi} \\ &= 22 \text{ feet (6,706 m)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar pelat maksimum} &= \text{Panjang pelat maksimum} : 1,25 \\ &= 6,706 : 1,25 \\ &= 5,365 \text{ m.}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka digunakan ukuran segmen pelat beton adalah panjang pelat sebesar 4,0 meter dan lebar pelat sebesar 3,6 meter. Untuk mengetahui apakah ukuran segmen pelat memenuhi syarat *AASHTO* 1993 dilakukan perhitungan ulang sebagai berikut.

$$\text{Panjang pelat beton} = 4 \text{ meter} < 6,706 \text{ meter}$$

Memenuhi syarat

$$\text{Perbandingan lebar dan panjang pelat} = \text{Panjang pelat} : \text{Lebar pelat}$$

$$= 4 : 3,6$$

$$= 1,11 < 1,25$$

Memenuhi syarat

Ukuran segmen pelat beton yang digunakan sebagai perkerasan ruas Tol Colomadu-Karanganyar yaitu panjang pelat 4,0 meter dan lebar pelat 3,6 meter.

5.2.4 Perhitungan Penulangan

Penentuan tulangan yang digunakan harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

- a. Tebal pelat = 280 mm
- b. Jumlah lajur setiap arah = 2 lajur
- c. Panjang tiap segmen lajur = 4 meter
- d. Lebar tiap lajur = 3,6 meter (12 ft)

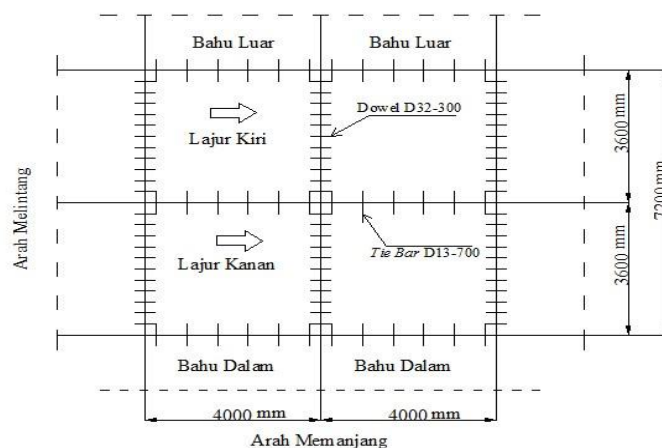
Perhitungan penulangan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku ruas tol Colomadu-Karanganyar adalah sebagai berikut.

1) Perhitungan *Tie Bars*

Penentuan *tie bars* yang digunakan dapat menggunakan Tabel 3.18. Berdasarkan Tabel 3.18 dengan tebal perkerasan 280 mm (11 in) apabila menggunakan diameter batang tulangan baja ulir $\frac{1}{2}$ in, maka panjang tulangan 600 mm dan jarak antar tulangan yang dipakai 700 mm.

2) Menentukan *Dowel*

Penentuan *dowel* yang digunakan dapat menggunakan Tabel 3.19. Berdasarkan Tabel 3.19 maka ukuran *dowel* yang digunakan yaitu baja tulangan polos berdiameter 32 mm, panjang *dowel* 450 mm dan jarak antar *dowel* 300 mm. Penempatan penulangan hasil dari desain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Penempatan Penulangan Hasil Desain Metode AASHTO 1993

5.3 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2002

Penentuan tebal struktur perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

5.3.1 Perhitungan Perkerasan Kaku

Data perencanaan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 adalah sebagai berikut.

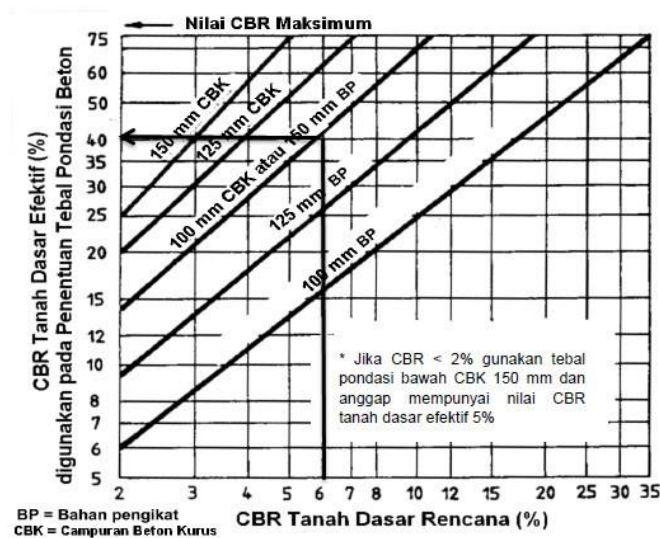
a. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan. Umumnya perkerasan beton semen direncanakan dengan

umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun sesuai Pedoman XX-2002. Umur rencana yang digunakan dalam parameter desain adalah 20 tahun.

b. Menentukan *CBR* Tanah Dasar Efektif

Nilai *CBR* yang diperoleh dari hasil uji *DCP* adalah lebih kecil dari 6%, sehingga tanah dasar harus diperbaiki untuk mencapai nilai *CBR* minimum sebesar 6% sesuai spesifikasi umum pekerjaan jalan 2010 revisi 3. *CBR* tanah dasar rencana yang digunakan sebagai parameter desain adalah sebesar 6% dengan dukungan lapisan *subbase*. Untuk menentukan *CBR* tanah efektif maka dapat ditunjukkan pada Gambar 5. 8.



Gambar 5.8 Penentuan *CBR* Tanah Dasar Efektif

Berdasarkan Gambar 5.8 maka *CBR* tanah dasar efektif yang diperoleh sebesar 40% yang digunakan sebagai parameter desain perkerasan kaku.

c. Menentukan Kuat Lentur Beton

Nilai kuat lentur beton dipengaruhi oleh nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton (f_c') yang diperoleh sesuai uji pada laboratorium sebesar 479 Kg/cm² sehingga nilai kuat tekan tersebut memenuhi syarat kuat tekan minimum sebesar 450 Kg/cm². Nilai kuat tekan (f_c') yang digunakan sebagai parameter

desain adalah sebesar 450 Kg/cm² (44.129925 MPa). Untuk menentukan nilai kuat lentur beton menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} f_{cf} &= 0,75 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,75 \sqrt{44,129925} \\ &= 4,98 \text{ MPa dibulatkan menjadi } 5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d. Menentukan Lalu Lintas Harian Rata-Rata

Volume lalu lintas harian yang digunakan sebagai parameter desain merujuk pada Tabel 5.2.

e. Menentukan Lapis Pondasi

Pondasi bawah yang digunakan adalah campuran beton kurus (CBK) yang mempunyai kuat tekan beton minimum 28 hari 50 Kg/cm² dengan tebal pondasi atas sebesar 10 cm dan lapis pondasi bawah berupa lapis agregat kelas A dengan tebal sebesar 15 cm sesuai Pedoman XX-2002.

f. Pertumbuhan Lalu Lintas

Pertumbuhan lalu lintas pada jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar sesuai data instansi terkait digunakan 9% sebagai parameter desain pertumbuhan lalu lintas per tahun.

g. Analisis Lalu Lintas

Analisis perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

Perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya pada bus ringan 1.2 adalah sebagai berikut.

Konfigurasi beban sumbu berdasarkan Tabel 5.1.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sumbu} &= \text{Jumlah kendaraan} \times \text{Jumlah sumbu per kendaraan} \\ &= 108 \times 2 \\ &= 216 \text{ buah} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk jenis kendaraan lain dapat ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (bh)	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah sumbu per kendaraan (bh)	Jumlah Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG		STrRG	
		RD	RB	RGD	RGB			BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
Sedan, Jeep, Station Wagon, Pick up	4793	1,875	1,875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus Ringan 1.2	108	2,0944	4,0656	-	-	2	216	2,094	108	4,0656	108	-	-	-	-
Bus Besar 1.2	485	3,1382	6,0918	-	-	2	970	3,138	485	3,1382	485	-	-	-	-
Truk Ringan T1.2L	558	3,196	6,204	-	-	2	1116	3,196	558	6,204	558	-	-	-	-
Truk Berat T1.2H	122	3,8998	7,5702	-	-	2	244	3,899	122	7,5702	122	-	-	-	-
Truk 1.22	96	3,8825	11,6475			2	192	3,882	96	-	-	11,6475	96	-	-
Bus Tandem 1.22	1	3,2	9,6	-	-	2	2	3,2	1	-	-	9,6	1	-	-
Truk Gandengan 1.2-2.2	35	5,2722	7,0296	7,0296	7,029	4	140	5,272	35	7,0296	35	-	-	-	-
										7,0296	35	-	-	-	-
										7,0296	35	-	-	-	-
Trailer 1.2-22	16	4,6635	7,7725	-	18,65	3	48	4,663	16	7,7725	16	18,654	16	-	-
Trailer 1.22-2	2	4,575	9,15	-	16,78	3	6	4,575	2	-	-	9,15	2	-	-
												16,775	2	-	-
Trailer 1.2-222	9	4,1514	8,1141	-	25,47	3	27	4,151	9	8,1141	9	-	-	25,4745	9
Trailer 1.22-22	4	4,433	17,934	-	17,93	3	12	4,433	4	-	-	17,934	4	-	-
										-	-	17,9335	4	-	-
Trailer 1.22-222	15	4,095	15,47	-	25,93	3	45	4,095	15	-	-	15,47	15	25,935	15
Total							3018		1451		1403		140		24

h. Menentukan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \\ &= \frac{(1+0,09)^{20} - 1}{0,09} \\ &= 51,16 \end{aligned}$$

i. Menentukan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

Jumlah sumbu kendaraan niaga dipengaruhi oleh koefisien distribusi kendaraan (C). Koefisien distribusi kendaraan (C) merujuk berdasarkan Tabel 3.5. Berdasarkan Tabel 3.5 nilai koefisien distribusi (C) untuk 2 lajur satu arah diperoleh nilai sebesar 0,7. Sehingga jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.13. Hasil perhitungan dari Persamaan 3.13 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{JSKN rencana} &= \text{JSKNH} \times 365 \times R \times C \\ &= 3018 \times 365 \times 51,16 \times 0,7 \\ &= 39449424,84 \\ &= 3,944942484 \times 10^7 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan JSKN rencana diperoleh jumlah kendaraan niaga sebesar $3,944942484 \times 10^7$.

j. Menentukan Repetisi Sumbu yang Terjadi

Penentuan proporsi sumbu dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17. Penentuan proporsi beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.16. Penentuan repetisi yang terjadi dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21.

Berdasarkan persamaan tersebut hasil perhitungan repetisi yang terjadi adalah sebagai berikut.

Perhitungan STRT dengan beban 5,2722 ton.

$$\text{Proporsi beban} = \frac{\text{Jumlah sumbu tiap beban sumbu}}{\text{Jumlah sumbu total semua beban pada setiap jenis sumbu}} = \frac{35}{1451} = 0,0241$$

$$\text{Proporsi sumbu} = \frac{\text{Jumlah sumbu total tiap jenis sumbu}}{\text{Total sumbu semua jenis sumbu}} = \frac{1451}{3018} = 0,481$$

$$\begin{aligned} \text{Repetisi yang terjadi} &= \text{Proporsi beban} \times \text{Proporsi sumbu} \times \text{JSKN rencana} \\ &= 0,0241 \times 0,481 \times 39449424,8 \\ &= 457681,1812 \end{aligned}$$

Perhitungan repetisi yang terjadi untuk jenis sumbu dan beban lainnya seperti ditunjukkan Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Repetisi Sumbu yang Terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu (bh)	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	JSKN rencana (bh)	Repetisi yang Terjadi
STRT	5,2722	35	0,02412	0,481	39449424,8	457681,1812
	4,6635	16	0,01103	0,481	39449424,8	209296,162
	4,575	2	0,00138	0,481	39449424,8	26185,73922
	4,433	4	0,00276	0,481	39449424,8	52371,47844
	4,1514	9	0,0062	0,481	39449424,8	117646,0748
	4,095	15	0,01034	0,481	39449424,8	196203,2924
	3,8998	122	0,08408	0,481	39449424,8	1595432,575
	3,8825	96	0,06616	0,481	39449424,8	1255397,469
	3,2	1	0,00069	0,481	39449424,8	13092,86961
	3,196	558	0,38456	0,481	39449424,8	7297092,663
	3,1382	485	0,33425	0,481	39449424,8	6342451,692
2,0944	108	0,07443	0,481	39449424,8	1412322,152	
Total		1451	1,00			

Lanjutan Tabel 5.14 Repetisi Sumbu yang Terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu (bh)	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	JSKNrencana (bh)	Repetisi yang Terjadi
STRG	8,1141	9	0,00641	0,465	39449424,8	117584,9281
	7,7725	16	0,0114	0,465	39449424,8	209121,4011
	7,5702	122	0,08696	0,465	39449424,8	1595192,723
	7,0296	105	0,07484	0,465	39449424,8	1372863,654
	6,204	558	0,39772	0,465	39449424,8	7295768,74
	4,0656	108	0,07698	0,465	39449424,8	1412119,777
	3,1382	485	0,34569	0,465	39449424,8	6341331,328
Total		1403	1,00			
STdRG	18,654	16	0,11429	0,046	39449424,8	207399,0392
	17,934	8	0,05714	0,046	39449424,8	103690,4462
	16,775	2	0,01429	0,046	39449424,8	25931,68492
	15,47	15	0,10714	0,046	39449424,8	194424,1234
	11,6475	96	0,68571	0,046	39449424,8	1244339,795
	9,6	1	0,00714	0,046	39449424,8	12956,76909
	9,15	2	0,01429	0,046	39449424,8	25931,68492
Total		140	1,00			
STrRG	25,935	15	0,625	0,008	39449424,8	197247,1242
	25,4745	9	0,375	0,008	39449424,8	118348,2745
Total		24	1,00			
Kumulatif						39449424,8

k. Menentukan Faktor Keamanan Beban

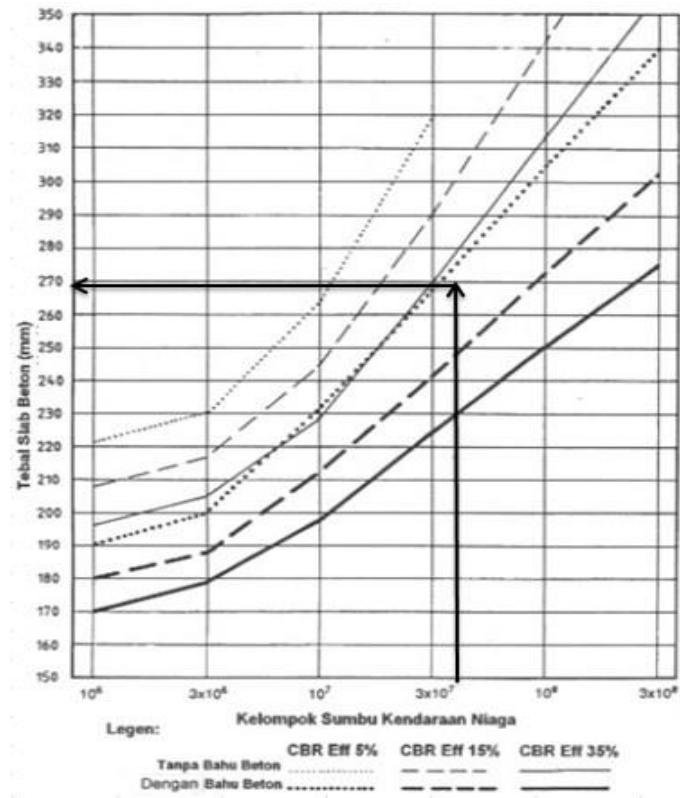
Faktor keamanan beban yang digunakan merujuk pada Tabel 3.6. Nilai faktor keamanan beban yang digunakan sebagai parameter desain adalah 1,2 dikarenakan jalan yang digunakan dalam desain merupakan jalan bebas hambatan.

l. Menentukan Bahu Jalan

Bahu dapat terbuat dari bahan beraspal atau lapisan beton semen. Dalam perencanaan ini bahu jalan baik sisi luar maupun bahu sisi dalam akan terbuat dari bahan aspal (tanpa bahu beton).

m. Tebal Taksiran Pelat Beton

Berdasarkan data parameter desain diatas maka dapat ditentukan tebal taksiran yang merujuk pada Gambar 3.22. Hasil penentuan tebal taksiran sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Penentuan Tebal Taksiran Minimum Perkerasan

Dari Gambar 5.6 diatas tebal taksiran beton minimum yang digunakan adalah sebesar 270 mm.

n. Analisis Fatik dan Erosi

Dalam menentukan tebal perkerasan salah satu parameter yang digunakan adalah analisis fatik dan erosi yang harus memenuhi syarat. Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi adalah sebagai berikut.

Perhitungan analisis erosi dan analisis fatik tebal taksiran 270 mm.

Perhitungan beban per roda STRT 52,722 kN

$$\begin{aligned} \text{Beban rencana per roda} &= \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{\text{Jumlah Roda}} \\ &= \frac{52,722 \times 1,2}{2} = 31,6332 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan beban per roda STRG 81,141 kN

$$\begin{aligned} \text{Beban rencana per roda} &= \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{\text{Jumlah Roda}} \\ &= \frac{81,141 \times 1,2}{4} = 24,3423 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan beban per roda STdRG 186,54 kN

$$\begin{aligned} \text{Beban rencana per roda} &= \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{\text{Jumlah Roda}} \\ &= \frac{186,54 \times 1,2}{8} = 27,981 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan beban per roda STRT 52,722 kN

STrRG 259,35 kN

$$\begin{aligned} \text{Beban rencana per roda} &= \frac{\text{Beban sumbu (kN)} \times \text{Faktor keamanan beban}}{\text{Jumlah Roda}} \\ &= \frac{259,35 \times 1,2}{12} = 25,935 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi STRG pada beban 81,141 kN tebal taksiran 270 mm. Penentuan nilai tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) berdasarkan Lampiran 2.

$$\text{Faktor rasio tegangan (FRT)} = \frac{\text{Tegangan Ekuivalen (TE)}}{(f_{ct})} = \frac{0,977}{5} = 0,195$$

Repetisi ijin analisis fatik berdasarkan hasil pada Lampiran 15.

$$\text{Persen rusak analisis Fatik} = \frac{\text{Repetisi ijin} \times 100}{\text{Repetisi ijin analisis fatik}} = \frac{0 \times 100}{0} = 0$$

Repetisi Ijin analisis fatik berdasarkan hasil pada Lampiran 16.

$$\text{Persen rusak analisis Fatik} = \frac{\text{Repetisi ijin} \times 100}{\text{Repetisi ijin analisis erosi}} = \frac{117584,9281 \times 100}{32000000} = 0,367$$

Perhitungan hasil analisis fatik dan erosi dengan tebal perkerasan taksiran sebesar 270 mm sampai 290 mm selengkapnya disajikan dalam Tabel 5.16, Tabel 5.17, dan Tabel 5.18.

Tabel 5.16 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 270 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
{1}	{2}	$\{3\} = (\{2\} \times \text{FKB}) / \text{JR}$	{4}	{5}	{6}	$\{7\} = \{4\} * 100 / \{6\}$	{8}	$\{9\} = \{4\} * 100 / \{8\}$
STRT	52,722	31,6332	457681,1812	TE = 0,593 FRT = 0,119 FE = 2,013	TT	0	TT	0
	46,635	27,981	209296,162		TT	0	TT	0
	45,758	27,4548	26185,73922		TT	0	TT	0
	44,33	26,598	52371,47844		TT	0	TT	0
	41,514	24,9084	117646,0748		TT	0	TT	0
	40,95	24,57	196203,2924		TT	0	TT	0
	38,998	23,3988	1595432,575		TT	0	TT	0
	38,825	23,295	1255397,469		TT	0	TT	0
	32	19,2	13092,86961		TT	0	TT	0
	31,96	19,176	7297092,663		TT	0	TT	0
	31,382	18,8292	6342451,692		TT	0	TT	0
20,944	12,5664	1412322,152	TT	0	TT	0		
STRG	81,141	24,3423	117584,9281	TE = 0,977 FRT = 0,195 FE = 2,623	TT	0	32000000	0,367
	77,725	23,3175	209121,4011		TT	0	42000000	0,498
	75,702	22,7106	1595192,723		TT	0	70000000	2,279
	70,296	21,0888	1372863,654		TT	0	TT	0
	62,04	18,612	7295768,74		TT	0	TT	0
	40,656	12,1968	1412119,777		TT	0	TT	0
	31,382	9,4146	6341331,328		TT	0	TT	0

Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 270 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
STdRG	186,54	27,981	207399,0392	TE = 0,85	TT	0	4000000	5,185
	177,32	26,598	103690,4462	FRT = 0,17	TT	0	5100000	2,033
	167,75	25,1625	25931,68492		TT	0	7000000	0,37
	154,7	23,205	194424,1234	FE = 2,78	TT	0	14000000	1,389
	116,475	17,47125	1244339,795		TT	0	TT	0
	96	14,4	12956,76909		TT	0	TT	0
	9,5	13,725	25931,68492		TT	0	TT	0
STrRG	259,35	25,935	197247,1242	TE = 0,637	TT	0	4000000	4,931
	254,745	25,4745	118348,2745	FRT = 0,127 FE = 2,827	TT	0	4500000	2,63
Total					0		19,682	
					<100 %		<100%	

Tabel 5.17 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 280 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
{1}	{2}	$\{3\} = (\{2\} \times \text{FKB}) / \text{JR}$	{4}	{5}	{6}	$\{7\} = \{4\} * 100 / \{6\}$	{8}	$\{9\} = \{4\} * 100 / \{8\}$
STRT	52,722	31,6332	457681,1812	TE = 0,563	TT	0	TT	0
	46,635	27,981	209296,162		TT	0	TT	0
	45,758	27,4548	26185,73922		TT	0	TT	0
	4,33	26,598	52371,47844	FRT = 0,113	TT	0	TT	0
	41,514	24,9084	117646,0748	FE = 1,967	TT	0	TT	0
	40,95	24,57	196203,2924		TT	0	TT	0
	38,998	23,3988	1595432,575		TT	0	TT	0
	38,825	23,295	1255397,469		TT	0	TT	0
	32	19,2	13092,86961		TT	0	TT	0
	31,96	19,176	7297092,663		TT	0	TT	0
	31,382	18,8292	6342451,692	TT	0	TT	0	
	20,944	12,5664	1412322,152	TT	0	TT	0	
STRG	81,141	24,3423	117584,9281	TE = 0,927	TT	0	80000000	0,147
	77,725	233175	209121,4011	FRT = 0,185	TT	0	TT	0
	75,702	22,7106	1595192,723		TT	0	TT	0
	70,296	21,0888	1372863,654		TT	0	TT	0
	62,04	18,612	7295768,74	FE = 2,573	TT	0	TT	0
	40,656	12,1968	1412119,777	TT	0	TT	0	
	31,382	9,4146	6341331,328	TT	0	TT	0	

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 280 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
STdRG	186,54	27,981	207399,0392	TE = 0,813	TT	0	5000000	4,15
	177,32	26,598	103690,4462	FRT = 0,163	TT	0	6000000	1,73
	167,75	25,1625	25931,68492		TT	0	8000000	0,324
	154,7	23,205	194424,1234	FE = 2,747	TT	0	15000000	1,296
	116,475	17,47125	1244339,795		TT	0	TT	0
	96	14,4	12956,76909		TT	0	TT	0
	91,5	13,725	25931,68492		TT	0	TT	0
STrRG	259,35	25,935	197247,1242	TE = 0,61	TT	0	4900000	4,025
	254,745	25,4745	118348,2745	FRT = 0,122 FE = 2,797	TT	0	6300000	1,879
Total					0		13,547	
					<100 %		<100%	

Tabel 5.18 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 290 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
{1}	{2}	$\{3\} = (\{2\} \times \text{FKB}) / \text{JR}$	{4}	{5}	{6}	$\{7\} = \{4\} * 100 / \{6\}$	{8}	$\{9\} = \{4\} * 100 / \{8\}$
STRT	52,722	31,6332	457681,1812	TE = 0,533	TT	0	TT	0
	46,635	27,981	209296,162		TT	0	TT	0
	45,758	27,4548	26185,73922		TT	0	TT	0
	44,33	26,598	52371,47844	FRT = 0,107	TT	0	TT	0
	41,514	24,9084	117646,0748	FE = 1,927	TT	0	TT	0
	40,95	24,57	196203,2924		TT	0	TT	0
	38,998	23,3988	1595432,575		TT	0	TT	0
	38,825	23,295	1255397,469		TT	0	TT	0
	32	19,2	13092,86961		TT	0	TT	0
	31,96	19,176	7297092,663		TT	0	TT	0
	31,382	18,8292	6342451,692	TT	0	TT	0	
	20,944	12,5664	1412322,152	TT	0	TT	0	
STRG	81,141	24,3423	117584,9281	TE = 0,887	TT	0	TT	0
	77,725	23,3175	209121,4011	FRT = 0,177	TT	0	TT	0
	75,702	22,7106	1595192,723		TT	0	TT	0
	70,296	21,0888	1372863,654		TT	0	TT	0
	62,04	18,612	7295768,74	FE = 2,533	TT	0	TT	0
	40,656	12,1968	1412119,777	TT	0	TT	0	
	31,382	9,4146	6341331,328	TT	0	TT	0	

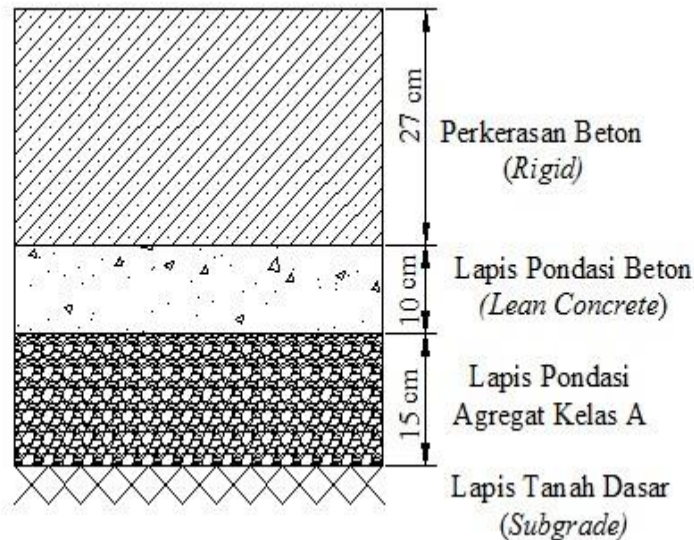
Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 290 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
STdRG	186,54	27,981	207399,0392	TE = 0,783	TT	0	5800000	3,576
	177,32	26,598	103690,4462	FRT = 0,157	TT	0	8000000	1,296
	167,75	25,1625	25931,68492		TT	0	10000000	0,26
	154,7	23,205	194424,1234	FE = 2,717	TT	0	19000000	1,023
	116,475	17,47125	1244339,795		TT	0	TT	0
	96	14,4	12956,76909		TT	0	TT	0
	91,5	13,725	25931,68492		TT	0	TT	0
STrRG	259,35	25,935	197247,1242	TE = 0,587	TT	0	7000000	2,818
	254,745	25,4745	118348,2745	FRT = 0,117 FE = 2,76	TT	0	7500000	1,578
Total					0		10,55	
					<100 %		<100%	

Repetisi ijin analisis fatik berdasarkan Gambar 3.23. Hasil penentuan repetisi ijin ada pada Lampiran 15, Lampiran 17, Lampiran 19.

Repetisi ijin analisis erosi berdasarkan Gambar 3.24. Hasil penentuan repetisi ijin ada pada Lampiran 16, Lampiran 18, Lampiran 20.

Perhitungan analisis fatik dan erosi untuk tebal perkerasan dari ke tiga tebal taksiran beton telah memenuhi syarat. Sehingga tebal taksiran yang dipakai sebagai desain perkerasan kaku adalah sebesar 270 mm. Struktur tebal perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Tebal Perkerasan Metode Bina Marga 2002

5.3.2 Menentukan Segmen Pelat Beton

Ukuran segmen pelat yang disarankan Bina Marga 2002 sesuai subbab 3.8.10 Sehingga dalam kasus jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar perhitungan ukuran segmen adalah sebagai berikut.

Berdasarkan subbab 3.8.10 diatas maka digunakan ukuran segmen pelat beton rencana adalah lebar pelat sebesar 3,6 meter. Untuk mengetahui apakah ukuran segmen pelat memenuhi syarat Bina Marga 2002 dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pelat beton maksimum} &= \text{Lebar Pelat} \times \text{Perbandingan} \\
 &= 3,6 \times 1,25 \\
 &= 4,5 \text{ meter} \\
 &\text{Digunakan lebar pelat 4 meter.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perbandingan lebar dan panjang pelat} &= \text{Panjang pelat} : \text{Lebar pelat} \\
 &= 4 : 3,6 \\
 &= 1,11 < 1,25 \\
 &\text{Memenuhi syarat}
 \end{aligned}$$

Ukuran segmen pelat beton yang digunakan sebagai perkerasan ruas Tol Colomadu-Karanganyar yaitu panjang pelat 4,0 meter dan lebar pelat 3,6 meter.

5.3.3 Perhitungan Penulangan

Penentuan tulangan yang digunakan harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

1. Tebal pelat = 270 mm
2. Jumlah lajur setiap arah = 2 lajur
3. Panjang tiap segmen lajur = 4 meter
4. Lebar tiap lajur = 3,6 meter
5. Mutu baja tulangan, direncanakan berdasarkan subbab 3.6.2 adalah sebagai berikut.
 - a. BJTP 24 (f_y : tegangan leleh = 28300 psi)
 - b. BJTD 40 (f_y : tegangan leleh = 47500 psi)
6. Dipilih batang pengikat D-16 mm berdasarkan subbab 3.8.11.

Perhitungan penulangan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku ruas tol Colomadu-Karanganyar adalah sebagai berikut.

a) Perhitungan Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

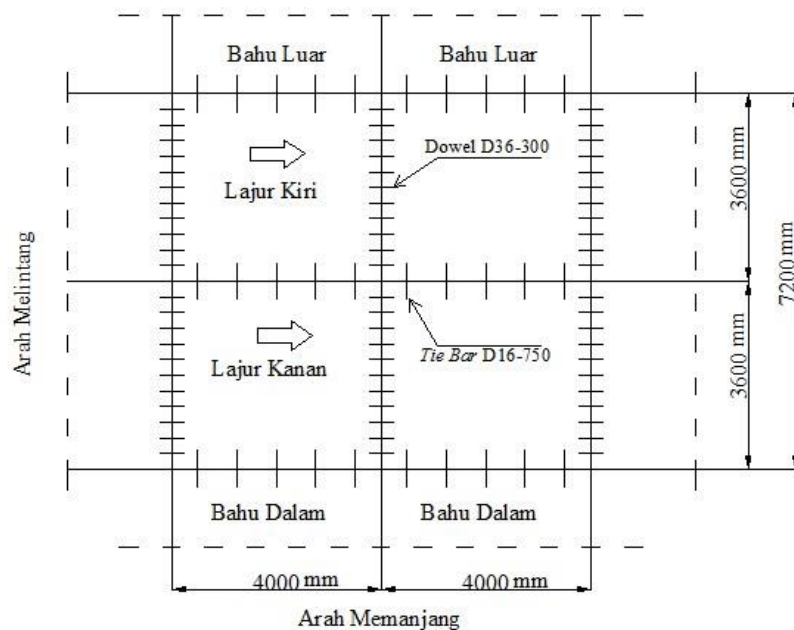
Sambungan memanjang dengan batang pengikat dimaksudkan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Ukuran batang dihitung dengan formula sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 l &= (38,3 \times \emptyset) + 75 \\
 &= (38,3 \times 16) + 75 \\
 &= 687,8 \text{ mm dibulatkan menjadi } 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan subbab 3.8.11 pada *tie bar* jarak antar sambungan memanjang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 3 sampai 4 meter jarak batang pengikat yang digunakan adalah 750 mm. Sehingga ukuran *tie bars* yang digunakan dengan tebal pelat beton 270 mm yaitu tulangan ulir berdiameter 16 mm, panjang 700 mm dan jarak antar *tie bars* 750 mm.

b) Menentukan Sambungan Susut Melintang

Ukuran batang pengikat yang digunakan sesuai tebal pelat beton merujuk pada Tabel 3.7. Berdasarkan subbab 3.8.11 untuk *dowel* jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 sampai 5 meter yang harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 450 mm dengan jarak antar ruji 300 mm. Ukuran *dowel* yang digunakan dengan tebal pelat beton 270 mm yaitu tulangan polos berdiameter 36 mm, panjang ruji 450 mm dan jarak antar ruji 300 mm. Penempatan penulangan hasil dari desain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Penempatan Penulangan Metode Bina Marga 2002

5.4 Pembahasan

Jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar merupakan salah satu bagian dari jalan tol Trans Jawa yang saat ini telah selesai pembangunannya. Pembangunan jalan tol ini menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perencanaan perkerasan kaku jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar menggunakan metode *AASHTO* 1993 diperoleh dua hasil yang sedikit berbeda. Hasil yang diperoleh dari metode *AASHTO* 1993 menggunakan formula diperoleh tebal pelat beton sebesar 28 cm, tebal lapis pondasi atas berupa *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi bawah agregat kelas A sebesar 15 cm. Hasil yang diperoleh dari metode *AASHTO* 1993 menggunakan nomogram diperoleh tebal pelat beton sebesar 27 cm, tebal lapis pondasi atas berupa *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi bawah agregat kelas A sebesar 15 cm. Perencanaan perkerasan kaku jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar menggunakan metode Bina Marga 2002 diperoleh tebal pelat beton sebesar 27 cm, tebal lapis pondasi atas berupa *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi bawah agregat kelas A sebesar 15 cm. Perencanaan perkerasan kaku jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar *existing* berdasarkan data dari instansi yang terkait diperoleh tebal pelat beton sebesar 29 cm, tebal lapis pondasi atas berupa *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi bawah agregat kelas A sebesar 15 cm.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka, dapat dibandingkan dengan kondisi tebal pelat beton *existing* yaitu sebesar 29 cm, perhitungan dengan formula metode *AASHTO* 1993 terdapat selisih 1 cm, perhitungan dengan nomogram metode *AASHTO* 1993 terdapat selisih 2 cm, dan perhitungan dengan metode Bina Marga 2002 terdapat selisih 2 cm. Selisih dari perhitungan formula dan nomogram metode *AASHTO* 1993 ini dikarenakan ketelitian dalam membaca grafik. Sedangkan perhitungan metode *AASHTO* 1993, Bina Marga 2002 dan kondisi *existing* dikarenakan perbedaan parameter *input* dari masing-masing metode. Selisih tebal pelat beton dari 3 metode tidak berbeda jauh dan telah memenuhi persyaratan minimum tebal pelat perkerasan kaku pada jalan tol.

Perbedaan tebal pelat beton masing-masing metode seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Perbandingan Tebal Beton Masing-Masing Metode

Metode	Tebal Struktur Perkerasan		
	Slab Beton (cm)	Lean Concrete (cm)	Pondasi Agregat (cm)
SKBI-2.3.28.1988	29	10	15
AASHTO 1993	28	10	15
Bina Marga 2002	27	10	15

Persamaan dan perbedaan parameter *input* dari ketiga metode tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Perbandingan Parameter *Input* Masing-Masing Metode

No.	Parameter <i>Input</i>	SKBI-2.3.28.1988	AASHTO 1993	Bina Marga 2002
1	Umur Rencana	20-40 tahun	20-40 tahun	20-40 tahun
2	Volume Lalu Lintas	Data lalu lintas 2 tahun terakhir	Data lalu lintas 2 tahun terakhir	Data lalu lintas 2 tahun terakhir
3	CBR Tanah Dasar	Min. 6%	Min. 6%	Min. 6%
4	<i>Serviceability</i>	-	Po sebesar 4,5 dan Pt sebesar 2,5	-
5	<i>Reliability (R)</i>	-	Nilai yang digunakan 80-99,99	-
6	<i>Standar Normal Deviation (ZR)</i>	-	Nilai yang digunakan dipengaruhi nilai <i>reliability</i>	-
7	<i>Standar Deviation (So)</i>	-	Nilai yang digunakan untuk perkerasan kaku sebesar 0,3-0,4	-
8	Modulus Elastisitas Beton (E_c)	-	Mutu beton minimum 450 kg/cm ²	-
9	Koefisien Drainase (C_d)	-	1,15 - 1,20	-

Lanjutan Tabel 5.20 Perbandingan Parameter *Input* Masing-Masing Metode

No.	Parameter <i>Input</i>	SKBI– 2.3.28.1988	AASHTO 1993	Bina Marga 2002
10	Koefisien Transfer Beban (J)	-	Nilai bahu aspal dengan alat transfer beban sebesar 3,1	-
11	Faktor Keamanan Beban	Nilai yang digunakan 1,2	-	Nilai yang digunakan 1,2
12	<i>Vehicle Damage Factor</i>	Min. kendaraan 5 ton	Min. kendaraan 8,16 ton	Min.kendaraan 5 ton
13	Faktor Lajur	Nilai yang digunakan 0,7	Nilai yang digunakan 0,8 - 1	Nilai yang digunakan 0,7

Berdasarkan Tabel 5.20 terdapat persamaan parameter *input* dari masing-masing metode. Parameter *input* yang sama belum tentu penentuan masing-masing metode juga akan sama seperti pada penentuan umur rencana untuk metode AASHTO 1993 memperhitungkan kondisi wilayah dari pembuatan jalan tersebut sedangkan Bina Marga 2002 penentuan umur rencana tidak memperhitungkan secara rinci. Parameter *input* volume lalu lintas dan *CBR* tanah dasar penentuannya sama. Jenis kendaraan dan volume lalu lintasnya diperhitungkan dalam penentuan parameter *input* volume lalu lintas dari masing-masing metode. Parameter *input* *CBR* tanah dasar memperhitungkan *CBR* minimum desain yang sama dari masing-masing metode.

Berdasarkan Tabel 5.20 terdapat perbedaan parameter *input* dari masing-masing metode. Parameter *input* pada Bina Marga 2002 dan SKBI–2.3.28.1988 yang tidak ada pada AASHTO 1993 adalah faktor keamanan beban dimana memperhitungkan klasifikasi kelas fungsi jalan dan beban per roda. Parameter *input* AASHTO 1993 yang tidak diperhitungkan metode lain yaitu nilai *serviceability* dengan memperhitungkan jenis perkerasan dan klasifikasi kelas fungsi jalan. Nilai *reliability* memperhitungkan klasifikasi kelas fungsi jalan dan kondisi wilayah. Nilai *standar normal deviation* (Z_R) bergantung pada penentuan nilai *reliability*. Nilai *standar deviation* memperhitungkan variasi dari *input* data.

Nilai modulus elastisitas beton memperhitungkan mutu beton yang digunakan. Nilai koefisien drainase memperhitungkan kualitas drainase, lama durasi hujan, jumlah hari hujan dalam waktu tertentu. Koefisien transfer beban memperhitungkan jenis perkerasan bahu jalan dan ada tidaknya alat transfer beban. Parameter *vehicle damage factor* yang diperhitungkan pada metode *AASHTO* yaitu kendaraan yang mempunyai beban total lebih dari 18 kips (8,16 ton) sedangkan Bina Marga 2002 kendaraan yang diperhitungkan dalam perencanaan perkerasan merupakan kendaraan niaga dimana beban total kendaraan minimum 5 ton. Parameter *input* faktor distribusi lajur dari masing-masing metode sama memperhitungkan faktor arah dan jumlah lajur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan metode *AASHTO* 1993 dan Bina Marga 2002, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Tebal struktur perkerasan kaku jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar berdasarkan data dari instansi terkait diperoleh tebal pelat beton kondisi *existing* adalah 29 cm, tebal *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi agregat kelas A sebesar 15 cm.
2. Tebal struktur perkerasan kaku jalan tol ruas Colomadu-Karanganyar berdasarkan perhitungan dengan formula metode *AASHTO* 1993 adalah tebal pelat 28 cm, tebal *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi agregat kelas A sebesar 15 cm, sedangkan perhitungan dengan nomogram metode *AASHTO* 1993 adalah tebal pelat 27 cm, tebal *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi agregat kelas A sebesar 15 cm. Tebal struktur perkerasan metode Bina Marga 2002 adalah tebal pelat 27 cm, tebal *lean concrete* sebesar 10 cm dan tebal lapis pondasi agregat kelas A sebesar 15 cm.
3. Berdasarkan hasil perhitungan, dibandingkan dengan kondisi tebal perkerasan *existing* yaitu tebal pelat sebesar 29 cm, perhitungan dengan formula metode *AASHTO* 1993 terdapat selisih 1 cm, perhitungan dengan nomogram metode *AASHTO* 1993 terdapat selisih 2 cm, dan perhitungan dengan metode Bina Marga 2002 terdapat selisih 2 cm. Selisih dari perhitungan formula dan nomogram metode *AASHTO* 1993 ini dikarenakan ketelitian dalam membaca grafik. Sedangkan perhitungan metode *AASHTO* 1993, Bina Marga 2002 dan kondisi *existing* dikarenakan perbedaan parameter *input* dari masing-masing metode. Selisih tebal pelat beton dari 3 metode tidak berbeda jauh dan telah memenuhi persyaratan minimum tebal pelat perkerasan kaku pada jalan tol.
4. Perencanaan tebal perkerasan *existing* yang dibandingkan untuk metode *AASHTO* 1993 dan metode Bina Marga 2002 terdapat perbedaan hasil.

Perbedaan tersebut dikarenakan adanya perbedaan parameter *input* oleh masing-masing metode. Perbedaan parameter *input* terdapat pada penentuan nilai *serviceability*, nilai *reliability*, nilai *standar normal deviation*, nilai koefisien drainase, nilai koefisien transfer beban, nilai modulus elastisitas beton, faktor keamanan beban dan jenis bahu jalan.

6.2 Saran

Berikut ini adalah hal-hal yang disarankan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian sejenis selanjutnya sebaiknya studi kasus pada jalan yang sudah dilewati secara berkala, hal ini akan mempermudah dalam mencari data-data yang diperlukan.
2. Dalam perencanaan perkerasan kaku metode *AASHTO* 1993 dan metode Bina Marga 2002 terdapat banyak pembacaan grafik. Sehingga dalam pembacaan grafik harus teliti untuk dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.
- Augustine, J. dan Sari, A. 2004. Analisa Perbandingan Perkerasan Tebal Kaku Antara Metode AASHTO 1993 dengan Metode Bina Marga 1983. *Tugas Akhir*. ITB Bandung.
- Badan Meteorologi Lanud Adi Soemarmo. 2018. Jumlah Hari Hujan Per Tahun. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen*. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1988. *Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku (SKBI-2.3.28. 1988)*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2000. *Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah, Lapis Pondasi Atas dan Lapis Permukaan (SNI 03-6388-2000)*. Jakarta.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Pedoman XX Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2005. *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dinas Perhubungan. 2013. Beban As Masing-Masing Kendaraan. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Dinas Perhubungan. 2013. Distribusi Kendaraan Dari Golongan ke Jenis Kendaraan. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Dinas Perhubungan. 2013. Pertumbuhan Lalu Lintas. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Dinas Perhubungan. 2013. Volume Lalu Lintas Tahun 2013. *Data Sekunder*. Surakarta.

- Farid, A. 2013. Analisis Perbedaan Biaya Konstruksi Jalan Beton dan Jalan Aspal dengan Metode Bina Marga dan AASHTO 1993 Selama Umur Rencana 20 Tahun. *Jurnal*. Vol.VI No.01:75-90. UNTAG Surabaya.
- Fwa, T.F. 2006. *Hand Book of Highway Engineering*. Taylor and Francis Grup, London.
- Hardiyatmo, H.C. 2015. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2016. Data *CBR Tanah Dasar. Data Sekunder*. Surakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2016. Data Uji Beton. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2016. Tebal Perkerasan Jalan Tol Solo-Ngawi pada Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi 1 B. *Data Sekunder*. Surakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2007. *Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol*. Direktorat Jendral Bina Marga
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2010. *Spesifikasi Umum Revisi 3*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Mudjanarko, S.W. 2009. *Analisa Perbandingan Beberapa Metode Perkerasan Beton untuk Jalan Akses Jembatan Suramadu*. Surabaya.
- Nikmah, A. 2013. Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Jalan Purwodadi – Kudus Ruas 198. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Semarang.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1980. *Undang-Undang Nomor 13 Tentang Jalan*. Indonesia.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang Nomor 38 Tentang Jalan*. Indonesia.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2005. *Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tentang Jalan Tol*. Indonesia.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2006. *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tentang Jalan*. Indonesia.

- Sulistyo, D. dan Kusumaningrum, J. 2013. Analisis Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Menggunakan Metode Bina Marga dan Metode AASHTO Serta Merencanakan Saluran Permukaan Pada Ruas Jalan Abdul Wahab, Sawangan. *Prosiding Teknik Sipil*. Bandung. 8-9 Oktober (Vol.5).
- Suryawan, A. 2009. *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Beta Offset, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG
200	5	0,91	1,47	1,27	0,99	2,01	2,61	2,74	2,78	1,8	2,4	2,52	2,6
	10	0,89	1,39	1,18	0,93	1,99	2,59	2,69	2,71	1,78	2,38	2,46	2,52
	15	0,87	1,35	1,15	0,9	1,98	2,59	2,66	2,68	1,77	2,37	2,43	2,49
	20	0,86	1,33	1,12	0,89	1,97	2,58	2,64	2,66	1,76	2,36	2,42	2,48
	25	0,85	1,3	1,1	0,87	1,97	2,57	2,62	2,64	1,75	2,35	2,4	2,44
	35	0,83	1,25	1,05	0,84	1,96	2,56	2,58	2,6	1,73	2,33	2,36	2,39
	50	0,82	1,2	1,01	0,82	1,94	2,54	2,54	2,55	1,71	2,31	2,32	2,33
	75	0,81	1,14	0,95	0,8	1,92	2,52	2,51	2,5	1,69	2,3	2,27	2,26
210	5	0,85	1,38	1,2	0,93	1,96	2,56	2,7	2,75	1,74	2,34	2,48	2,57
	10	0,82	1,3	1,11	0,87	1,94	2,54	2,65	2,67	1,72	2,32	2,42	2,49
	15	0,8	1,27	1,08	0,84	1,93	2,53	2,62	2,64	1,71	2,31	2,39	2,45
	20	0,8	1,24	1,05	0,83	1,92	2,52	2,6	2,62	1,7	2,3	2,37	2,43
	25	0,79	1,22	1,03	0,81	1,91	2,51	2,58	2,6	1,69	2,29	2,35	2,4
	35	0,77	1,17	0,98	0,78	1,9	2,49	2,54	2,56	1,67	2,28	2,31	2,34
	50	0,76	1,13	0,94	0,76	1,88	2,48	2,51	2,51	1,65	2,26	2,27	2,29
	75	0,75	1,07	0,9	0,74	1,86	2,47	2,46	2,46	1,64	2,24	2,22	2,22
220	5	0,79	1,3	1,13	0,87	1,91	2,51	2,67	2,72	1,68	2,29	2,44	2,54
	10	0,77	1,22	1,05	0,81	1,89	2,49	2,61	2,64	1,66	2,27	2,38	2,46
	15	0,76	1,19	1,02	0,79	1,88	2,48	2,58	2,61	1,66	2,26	2,35	2,42
	20	0,75	1,17	0,99	0,78	1,87	2,47	2,56	2,58	1,65	2,25	2,33	2,39
	25	0,74	1,15	0,97	0,76	1,86	2,46	2,54	2,56	1,64	2,24	2,31	2,37
	35	0,72	1,11	0,92	0,73	1,85	2,45	2,5	2,52	1,62	2,22	2,27	2,32

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 1 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton

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

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 1 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton

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

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 1 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan dengan Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG
280	5	0,54	0,94	0,86	0,63	1,64	2,25	2,48	2,56	1,4	2,01	2,22	2,37
	10	0,52	0,89	0,79	0,6	1,62	2,22	2,41	2,48	1,38	1,99	2,16	2,29
	15	0,52	0,86	0,76	0,58	1,61	2,2	2,38	2,44	1,37	1,97	2,13	2,25
	20	0,51	0,85	0,74	0,57	1,6	2,2	2,36	2,42	1,36	1,96	2,12	2,22
	25	0,51	0,83	0,73	0,56	1,59	2,19	2,34	2,39	1,35	1,95	2,1	2,2
	35	0,5	0,8	0,69	0,54	1,57	2,18	2,3	2,34	1,33	1,93	2,06	2,14
	50	0,5	0,76	0,66	0,51	1,55	2,16	2,26	2,29	1,31	1,91	2,01	2,06
	75	0,49	0,74	0,62	0,49	1,54	2,14	2,21	2,22	1,29	1,89	1,96	2
290	5	0,51	0,9	0,82	0,6	1,61	2,21	2,45	2,54	1,36	1,97	2,19	2,34
	10	0,5	0,85	0,76	0,57	1,58	2,18	2,39	2,46	1,34	1,94	2,13	2,26
	15	0,5	0,82	0,73	0,55	1,56	2,16	2,36	2,42	1,33	1,92	2,1	2,22
	20	0,49	0,81	0,72	0,54	1,56	2,16	2,34	2,39	1,32	1,92	2,08	2,2
	25	0,49	0,79	0,7	0,53	1,55	2,15	2,32	2,37	1,31	1,91	2,06	2,17
	35	0,48	0,76	0,66	0,51	1,53	2,14	2,28	2,32	1,29	1,89	2,02	2,11
	50	0,47	0,73	0,63	0,49	1,51	2,12	2,23	2,27	1,27	1,87	1,98	2,05
	75	0,47	0,7	0,6	0,47	1,5	2,1	2,18	2,19	1,25	1,85	1,93	1,98
300	5	0,49	0,86	0,79	0,58	1,57	2,17	2,42	2,52	1,32	1,93	2,16	2,32
	10	0,48	0,81	0,73	0,55	1,55	2,15	2,36	2,44	1,3	1,91	2,1	2,24
	15	0,47	0,78	0,7	0,53	1,53	2,14	2,33	2,4	1,29	1,89	2,07	2,2
	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
	25	0,46	0,76	0,67	0,51	1,51	2,12	2,29	2,35	1,27	1,87	2,03	2,15
	35	0,46	0,73	0,64	0,49	1,49	2,1	2,25	2,3	1,25	1,85	1,99	2,09
	50	0,45	0,7	0,6	0,46	1,48	2,08	2,2	2,24	1,23	1,83	1,95	2,03
	75	0,45	0,67	0,57	0,45	1,46	2,06	2,15	2,17	1,21	1,81	1,9	1,95

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lampiran 2 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG
200	5	1,1	1,81	1,6	1,2	2,44	3,04	3,23	3,27	2,23	2,83	2,97	3,1
	10	1,05	1,7	1,46	1,1	2,42	3,02	3,18	3,22	2,22	2,82	2,95	3,05
	15	1,02	1,65	1,4	1,05	2,42	3,02	3,15	3,19	2,22	2,82	2,93	3,02
	20	1,01	1,62	1,36	1,02	2,41	3,01	3,14	3,18	2,21	2,81	2,92	3,01
	25	0,99	1,59	1,33	0,99	2,4	3,01	3,12	3,16	2,21	2,81	2,91	2,99
	35	0,96	1,52	1,25	0,94	2,39	3	3,09	3,12	2,2	2,8	2,89	2,95
	50	0,92	1,44	1,18	0,89	2,38	2,98	3,06	3,09	2,19	2,79	2,87	2,92
	75	0,89	1,36	1,1	0,84	2,36	2,96	3	3,04	2,18	2,78	2,85	2,88
210	5	1,02	1,69	1,5	1,14	2,38	2,99	3,18	3,23	2,17	2,77	2,92	3,06
	10	0,97	1,59	1,38	1,04	2,36	2,97	3,13	3,18	2,16	2,76	2,89	3,01
	15	0,94	1,54	1,32	0,99	2,36	2,96	3,1	3,15	2,15	2,75	2,87	2,98
	20	0,93	1,51	1,28	0,96	2,35	2,95	3,09	3,13	2,14	2,75	2,87	2,96
	25	0,92	1,48	1,25	0,93	2,34	2,95	3,07	3,11	2,14	2,75	2,86	2,94
	35	0,89	1,41	1,18	0,88	2,33	2,94	3,04	3,07	2,13	2,74	2,84	2,9
	50	0,86	1,35	1,11	0,83	2,32	2,92	3,01	3,04	2,13	2,73	2,81	2,86
	75	0,82	1,27	1,03	0,78	2,3	2,9	2,95	2,98	2,12	2,72	2,79	2,83
220	5	0,94	1,58	1,42	1,08	2,33	2,93	3,14	3,19	2,11	2,71	2,87	3,02
	10	0,9	1,49	1,3	0,98	2,31	2,91	3,09	3,13	2,1	2,7	2,84	2,96
	15	0,88	1,44	1,25	0,93	2,3	2,9	3,06	3,1	2,09	2,69	2,82	2,93
	20	0,87	1,42	1,22	0,91	2,29	2,89	3,05	3,09	2,08	2,69	2,81	2,92
	25	0,85	1,39	1,18	0,88	2,29	2,89	3,03	3,07	2,08	2,69	2,8	2,9

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 2 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

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

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 2 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

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

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 2 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG
270	25	0,6	1,04	0,93	0,7	2,04	2,64	2,83	2,88	1,82	2,42	,259	2,71
	35	0,62	0,99	0,87	0,65	2,02	2,63	2,79	2,84	1,81	2,41	2,55	2,67
	50	0,58	,095	0,81	0,61	2	2,61	2,76	2,8	1,8	2,4	2,52	2,63
	75	0,56	0,89	0,74	0,57	1,99	2,59	2,7	2,75	1,79	2,39	2,5	2,58
280	5	0,65	1,13	1,08	0,83	2,05	2,65	2,92	2,97	1,8	2,4	2,62	2,8
	10	0,62	1,06	0,99	0,75	2,03	2,63	2,86	2,91	1,79	2,39	2,58	2,74
	15	0,6	1,03	0,94	0,72	2,01	2,62	2,83	2,88	1,78	2,38	2,56	2,71
	20	0,6	1,01	0,92	0,69	2	2,61	2,82	2,87	1,77	2,37	2,55	2,7
	25	0,59	0,99	0,89	0,67	1,99	2,6	2,8	2,85	1,77	2,37	2,54	2,68
	35	0,57	0,94	0,83	0,62	1,97	2,58	2,76	2,81	1,76	2,36	2,51	2,64
	50	0,55	0,9	0,78	0,59	1,96	2,56	2,72	2,77	1,75	2,35	2,48	2,6
	75	0,53	0,86	0,71	0,53	1,940	2,55	2,68	2,72	1,74	2,34	2,46	2,55
290	5	0,61	1,08	1,04	0,8	2,01	2,61	2,89	2,93	1,75	2,35	2,58	2,77
	10	0,59	1,01	0,95	0,73	1,99	2,59	2,83	2,88	1,74	2,34	2,54	2,71
	15	0,58	0,98	0,9	0,7	1,97	2,58	2,8	2,85	1,74	2,34	2,52	2,68
	20	0,57	0,96	0,88	0,67	1,96	0,2	2,79	2,83	1,73	2,33	2,51	2,67
	25	0,56	0,94	0,85	0,65	1,95	2,56	2,77	2,81	1,73	2,33	2,5	2,65
	35	0,54	0,9	0,80	0,6	1,93	2,54	2,73	2,77	1,72	2,32	2,47	2,61
	50	0,52	0,86	0,75	0,56	1,92	2,52	2,69	2,74	1,71	2,31	2,44	2,56
	75	0,5	0,81	0,68	0,52	1,9	2,5	2,64	2,68	1,7	2,3	2,42	2,51

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lanjutan Lampiran 2 Tegangan Ekvivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG	STRT	STRG	STdRG	STrTG
300	5	0,56	1,03	1	0,77	1,97	2,57	2,86	2,9	1,71	2,31	2,55	2,74
	10	0,56	0,97	0,91	0,7	1,95	2,55	2,8	2,85	1,7	2,3	2,51	2,68
	15	0,55	0,94	0,87	0,67	1,93	2,54	2,77	2,82	1,69	2,3	2,49	2,65
	20	0,54	0,92	0,85	0,65	1,92	2,53	2,76	2,8	1,68	2,29	2,48	2,64
	25	0,53	0,9	0,82	0,63	1,91	2,52	2,74	2,78	1,68	2,29	2,46	2,62
	35	0,51	0,86	0,77	0,58	1,89	2,5	2,7	2,74	1,67	2,28	2,43	2,58
	50	0,49	0,82	0,72	0,54	1,88	2,48	2,66	2,7	1,66	2,26	2,41	2,53
75	0,47	0,78	0,65	0,5	1,86	2,46	2,61	2,65	1,65	2,26	2,37	2,48	

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Lampiran 3 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles Pt of 2,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
8	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
10	0,087	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
12	0,186	0,180	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
14	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
16	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,55	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59
22	2,32	2,32	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41	2,42
24	3,37	3,34	3,40	3,47	3,51	3,53	3,54	3,55	3,55
26	4,76	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
28	6,58	6,44	6,52	6,70	6,85	6,94	7,00	7,02	7,04
30	8,92	8,68	8,74	8,98	9,23	9,39	9,48	9,54	9,56
32	11,9	11,5	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,7
34	15,5	15,0	14,9	15,3	15,8	16,2	16,4	16,6	16,7
36	20,1	19,3	19,2	19,5	20,1	20,7	21,1	21,4	21,5
38	25,6	24,5	24,3	24,6	25,4	26,1	26,7	27,1	27,4
40	32,2	30,8	30,4	30,7	31,6	32,6	33,4	34,0	34,4
42	40,1	38,4	37,7	38,0	38,9	40,1	41,3	42,1	42,7
44	49,4	47,3	46,4	46,6	47,6	49,0	50,4	51,6	52,4
46	60,4	57,7	56,6	56,7	57,7	59,3	61,1	62,6	62,7
48	73,2	69,9	68,4	68,4	69,4	71,2	73,3	75,3	76,8
50	88,0	84,1	82,2	82,0	83,0	84,9	87,4	89,8	91,7

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 4 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 2,0

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
6	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
8	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
10	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
12	0,028	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
14	0,051	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
16	0,087	0,084	0,082	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080
18	0,141	0,136	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131
20	0,216	0,210	0,206	0,204	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203
22	0,319	0,313	0,307	0,305	0,304	0,303	0,303	0,303	0,303
24	0,454	0,449	0,444	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439	0,439
26	0,629	0,626	0,622	0,620	0,618	0,618	0,618	0,618	0,618
28	0,852	0,851	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849	0,849	0,849
30	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
32	1,48	1,48	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
34	1,90	1,90	1,93	1,95	1,96	1,97	1,97	1,97	1,97
36	2,42	2,41	2,45	2,49	2,51	2,52	2,53	2,53	2,53
38	3,04	3,02	3,07	3,13	3,17	3,19	3,20	3,20	3,21
40	3,79	3,74	3,80	3,89	3,95	3,98	4,00	4,01	4,01
42	4,67	4,59	4,66	4,78	4,87	4,93	4,95	4,97	4,97
44	5,72	5,59	5,67	5,82	5,95	6,03	6,07	6,09	6,10
46	6,94	6,76	6,83	7,02	7,20	7,31	7,37	7,41	7,43
48	8,36	8,12	8,17	8,40	8,63	8,79	8,88	8,93	8,96
50	10,00	9,69	9,72	9,98	10,27	10,49	10,62	10,69	10,73

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 4 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 2,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	11,9	11,5	11,5	11,8	12,1	12,40	12,6	12,7	12,8
54	14,0	13,5	13,5	13,8	14,2	14,6	14,9	15,0	15,1
56	16,5	15,9	15,8	16,1	16,6	17,1	17,4	17,6	17,7
58	19,3	18,5	18,4	18,7	19,3	19,8	20,3	20,5	20,7
60	22,4	21,5	21,3	21,6	22,3	22,9	23,5	23,8	24,0
62	25,9	24,9	24,6	24,9	25,6	26,4	27,0	27,5	27,7
64	29,9	28,6	28,2	28,5	29,3	30,2	31,0	31,6	31,9
66	34,3	32,8	32,3	32,6	33,4	34,4	35,4	36,1	36,5
68	39,2	37,5	36,8	37,1	37,9	39,1	40,2	41,1	41,6
70	44,6	42,7	41,9	42,1	42,9	44,2	45,5	46,6	47,3
72	50,6	48,4	47,5	47,6	48,5	49,9	51,4	52,6	53,5
74	57,3	54,7	53,6	53,6	54,6	56,1	57,7	59,2	60,3
76	64,6	61,7	60,4	60,3	61,2	62,8	64,7	66,4	67,7
78	72,5	69,3	67,8	67,7	68,6	70,2	72,3	74,3	75,8
80	81,3	77,6	75,9	75,9	76,6	78,3	80,6	82,8	84,7
82	90,9	86,7	84,7	84,7	85,3	87,1	89,6	92,1	94,2
84	101,0	97,0	94,0	94,0	95,0	97,0	99,0	102,0	105,0
86	113,0	107,0	105,0	105,0	105,0	107,0	110,0	113,0	116,0
88	125,0	119,0	116,0	116,0	116,0	118,0	121,0	125,0	128,0
90	138,0	132,0	129,0	129,0	129,0	131,0	134,0	137,0	141,0

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 5 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 2,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
6	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
10	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
12	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
14	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
16	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
18	0,047	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
20	0,072	0,069	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
22	0,105	0,101	0,99	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
24	0,149	0,144	0,141	0,139	0,139	0,138	0,138	0,138	0,138
26	0,205	0,199	0,195	0,194	0,193	0,192	0,192	0,192	0,192
28	0,276	0,270	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262	0,262	0,261
30	0,364	0,359	0,354	0,351	0,350	0,349	0,349	0,349	0,349
32	0,472	0,468	0,463	0,460	0,459	0,458	0,458	0,458	0,458
34	0,603	0,600	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592
36	0,759	0,759	0,757	0,756	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755
38	0,946	0,947	0,949	0,950	0,951	0,951	0,951	0,951	0,951
40	1,17	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19
42	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
44	1,73	1,73	1,75	1,77	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79
46	2,08	2,07	2,10	2,13	2,15	2,16	2,16	2,16	2,17
48	2,48	2,47	2,51	2,55	2,58	2,59	2,60	2,60	2,61
50	2,95	2,92	2,97	3,03	3,07	3,09	3,10	3,11	3,11

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 5 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 2,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	3,48	3,44	3,50	3,58	3,63	3,66	3,68	3,69	3,69
54	4,09	4,03	4,09	4,20	4,27	4,31	4,33	4,35	4,35
56	4,78	4,69	4,76	4,89	4,99	5,05	5,08	5,09	5,10
58	5,57	5,44	5,51	5,56	5,79	5,87	5,91	5,94	5,95
60	6,45	6,29	6,35	6,53	6,69	6,79	6,85	6,88	6,90
62	7,43	7,23	7,28	7,49	7,69	7,82	7,90	7,94	7,97
64	8,54	8,23	8,32	8,55	8,80	8,97	9,07	9,13	9,16
66	9,76	9,46	9,48	9,73	10,02	10,24	10,37	10,44	10,48
68	11,1	10,8	10,8	11,0	11,4	11,6	11,8	11,9	12,0
70	12,6	12,2	12,2	12,5	12,8	13,2	13,4	13,5	13,6
72	14,3	13,8	13,7	14,0	14,5	14,9	15,1	15,3	15,4
74	16,1	15,5	15,4	15,7	16,2	16,7	17,0	17,2	17,3
76	18,2	17,5	17,3	17,6	18,2	18,7	19,1	19,3	19,5
78	20,4	19,6	19,4	19,7	20,3	20,9	21,4	21,7	21,8
80	22,8	21,9	21,6	21,9	22,6	23,3	23,8	24,2	24,4
82	25,4	24,4	24,1	24,4	25,0	25,8	26,5	26,9	27,2
84	28,3	27,1	26,7	27,0	27,7	28,6	29,4	29,9	30,2
86	31,4	30,1	29,6	29,9	30,7	31,6	32,5	33,1	33,5
88	34,8	33,3	32,8	33,0	33,8	34,8	35,8	36,6	37,1
90	38,5	36,8	36,2	36,4	37,2	38,3	39,4	40,3	40,9

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 6 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles Pt of 2,5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
8	0,039	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
10	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080
12	0,203	0,189	0,181	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173
14	0,376	0,360	0,347	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336
16	0,634	0,623	0,610	0,604	0,601	0,599	0,599	0,599	0,598
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,51	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
22	2,21	2,20	2,28	2,34	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41
24	3,16	3,10	3,22	3,36	3,45	3,50	3,53	3,54	3,55
26	4,41	4,26	4,42	4,67	4,85	4,95	5,01	5,04	5,05
28	6,05	5,76	5,92	6,29	6,61	6,81	6,92	6,98	7,01
30	8,16	7,67	7,79	8,28	8,79	9,14	9,35	9,46	9,52
32	10,8	10,1	10,1	10,7	11,4	12,0	12,3	12,6	12,7
34	14,1	13,0	12,9	13,6	14,6	15,4	16,0	16,4	16,5
36	18,2	16,7	16,4	17,1	18,3	19,5	20,4	21,0	21,3
38	23,1	21,1	20,6	21,3	22,7	24,3	25,6	26,4	27,0
40	29,1	26,5	25,7	26,3	27,9	29,9	31,6	32,9	33,7
42	36,2	32,9	31,7	32,2	34,0	36,3	38,7	40,4	41,6
44	44,6	40,4	38,8	39,2	41,0	43,8	46,7	49,1	50,8
46	54,5	49,3	47,1	47,3	49,2	52,3	55,9	59,0	61,4
48	66,1	59,7	56,9	56,8	58,7	62,1	66,3	70,3	73,4
50	79,4	71,7	68,2	67,8	69,6	73,3	78,1	83,0	87,1

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 7 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 2,5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
6	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
8	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
10	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
12	0,031	0,028	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
14	0,057	0,052	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
16	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080
18	0,155	0,143	0,136	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131
20	0,234	0,220	0,211	0,206	0,204	0,203	0,203	0,203	0,203
22	0,340	0,325	0,313	0,308	0,305	0,304	0,303	0,303	0,303
24	0,475	0,462	0,450	0,444	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439
26	0,644	0,637	0,627	0,622	0,620	0,619	0,618	0,618	0,618
28	0,855	0,854	0,852	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849	0,849
30	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
32	1,43	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51
34	1,82	1,82	1,87	1,92	1,95	1,96	1,97	1,97	1,97
36	2,29	2,27	2,35	2,43	2,48	2,51	2,52	2,52	2,53
38	2,85	2,80	2,91	3,03	3,12	3,16	3,18	3,20	3,20
40	3,52	3,42	3,55	3,74	3,87	3,94	3,98	4,00	4,01
42	4,32	4,16	4,30	4,55	4,74	4,86	4,91	4,95	4,96
44	5,26	5,01	5,16	5,48	5,75	5,92	6,01	6,06	6,09
46	6,36	6,01	6,14	6,53	6,90	7,14	7,28	7,36	7,40
48	7,64	7,16	7,27	7,73	8,21	8,55	8,75	8,86	8,92
50	9,11	8,50	8,55	9,07	9,68	10,14	10,42	10,58	10,66

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 7 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 2,5

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	10,8	10,0	10,0	10,6	11,3	11,9	12,3	12,5	12,7
54	12,8	11,8	11,7	12,3	13,2	13,9	14,5	14,8	14,9
56	15,0	13,8	13,6	14,2	15,2	16,2	16,8	17,3	17,5
58	17,5	16,0	15,7	16,3	17,5	18,6	19,5	20,1	20,4
60	20,3	18,5	18,1	18,7	20,0	21,4	22,5	23,2	23,6
62	23,5	21,4	20,8	21,4	22,8	24,4	25,7	26,7	27,3
64	27,0	24,6	23,8	24,4	25,8	27,7	29,3	30,5	31,3
66	31,0	28,1	27,1	27,6	29,2	31,3	33,2	34,7	35,7
68	35,4	32,1	30,9	31,3	32,9	35,2	37,5	39,3	40,5
70	40,3	36,5	35,0	35,3	37,0	39,5	42,1	44,3	45,9
72	45,7	41,4	39,6	39,8	41,5	44,2	47,2	49,8	51,7
74	51,7	46,7	44,6	44,7	46,4	49,3	52,7	55,7	58,0
76	58,3	52,6	50,2	50,1	51,8	54,9	58,6	62,1	64,8
78	65,5	59,1	56,3	56,1	57,7	60,9	65,0	69,0	72,3
80	73,4	66,2	62,9	62,5	64,2	67,5	71,9	76,4	80,2
82	82,0	73,9	70,2	69,6	71,2	74,7	79,4	84,4	88,8
84	91,4	82,4	78,1	77,3	78,9	82,4	87,4	93,0	98,1
86	113,0	92,0	87,0	86,0	87,0	91,0	96,0	102,0	108,0
88	125,0	102,0	96,0	95,0	96,0	100,0	105,0	112,0	119,0
90	125,0	112,0	106,0	105,0	106,0	110,0	115,0	123,0	130,0

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 8 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 2,5

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
6	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
10	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
12	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
14	0,020	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
16	0,033	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
18	0,053	0,048	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043
20	0,080	0,073	0,069	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
22	0,116	0,107	0,101	0,099	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097
24	0,163	0,151	0,144	0,141	0,139	0,139	0,138	0,138	0,138
26	0,222	0,209	0,200	0,195	0,194	0,193	0,192	0,192	0,192
28	0,295	0,281	0,271	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262	0,262
30	0,384	0,371	0,359	0,354	0,351	0,350	0,349	0,349	0,349
32	0,490	0,480	0,468	0,463	0,460	0,459	0,458	0,458	0,458
34	0,616	0,609	0,601	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592
36	0,765	0,762	0,759	0,757	0,756	0,755	0,755	0,755	0,755
38	0,939	0,941	0,946	0,948	0,950	0,951	0,951	0,951	0,951
40	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
42	1,38	1,38	1,41	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46
44	1,65	1,65	1,70	1,74	1,77	1,78	1,78	1,78	1,79
46	1,97	1,96	2,03	2,09	2,13	2,15	2,16	2,16	2,16
48	2,34	2,31	2,40	2,49	2,55	2,58	2,59	2,60	2,60
50	2,76	2,71	2,81	2,94	3,02	3,07	3,09	3,10	3,11

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 8 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 2,5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	3,24	3,15	3,27	3,44	3,56	3,52	3,66	3,68	3,68
54	3,79	3,66	3,79	4,00	4,16	4,26	4,30	4,33	4,34
56	4,41	4,23	4,37	4,63	4,84	4,97	5,03	5,07	5,09
58	5,12	4,87	5,00	5,32	5,59	5,76	5,85	5,90	5,93
60	5,91	5,59	5,71	6,08	6,42	6,64	6,77	6,84	6,87
62	6,80	6,39	6,50	6,91	7,33	7,62	7,79	7,88	7,93
64	7,79	7,29	7,37	7,82	8,33	8,70	8,92	9,04	9,11
66	8,90	8,28	8,33	8,83	9,42	9,88	10,17	10,33	10,42
68	10,1	9,40	9,40	9,90	10,6	11,2	11,5	11,7	11,9
70	11,5	10,6	10,6	11,1	11,9	12,6	13,0	13,3	13,5
72	13,0	12,0	11,8	12,4	13,3	14,1	14,7	15,0	15,2
74	14,6	13,5	13,2	13,8	14,8	15,8	16,5	16,9	17,1
76	16,5	15,1	14,8	15,4	16,5	17,6	18,4	18,9	19,2
78	18,5	16,9	16,5	17,1	18,2	19,5	20,5	21,1	21,5
80	20,6	18,8	18,3	18,9	20,2	21,6	22,7	23,5	24,0
82	23,0	21,0	20,3	20,9	22,2	23,8	25,2	26,1	26,7
84	25,6	23,3	22,5	23,1	24,5	26,2	27,8	28,9	29,6
86	28,4	25,8	24,9	25,4	26,9	28,8	30,5	31,9	32,8
88	31,5	28,6	27,5	27,9	29,4	31,5	33,5	35,1	36,1
90	34,8	31,5	30,3	30,7	32,5	34,4	36,7	38,5	39,8

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 9 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles Pt of 3,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
4	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,014	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
8	0,045	0,038	0,034	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
10	0,111	0,095	0,087	0,083	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080
12	0,228	0,202	0,186	0,179	0,176	0,174	0,174	0,174	0,173
14	0,408	0,378	0,355	0,344	0,340	0,337	0,337	0,336	0,336
16	0,660	0,640	0,619	0,608	0,603	0,600	0,599	0,599	0,599
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,46	1,47	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59
22	2,07	2,06	2,18	2,29	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41
24	2,90	2,81	3,00	3,23	3,38	3,47	3,51	3,53	3,54
26	4,00	3,77	4,1	4,40	4,70	4,87	4,96	5,01	5,04
28	5,43	4,99	5,23	5,80	6,31	6,65	6,83	6,93	6,98
30	7,27	6,53	6,72	7,46	8,25	8,83	9,17	9,36	9,46
32	9,59	8,47	8,53	9,42	10,54	11,44	12,03	12,37	12,56
34	12,5	10,9	10,7	11,7	13,2	14,5	15,5	16,0	16,4
36	16,0	13,8	13,4	14,4	16,2	18,1	19,5	20,4	21,0
38	20,4	17,4	16,7	17,7	19,8	22,2	24,2	25,6	26,4
40	25,6	21,8	20,6	21,5	23,8	26,8	29,5	31,5	32,9
42	31,8	26,9	25,3	26,0	28,5	32,0	35,5	38,4	40,3
44	39,2	33,1	30,8	31,3	33,9	37,9	42,3	46,1	48,8
46	47,8	40,3	37,2	37,5	40,1	44,5	49,8	54,7	58,5
48	57,9	48,6	44,8	44,7	47,3	52,1	58,2	64,3	69,4
50	69,6	58,4	53,6	53,1	55,6	60,6	67,6	75,0	81,4

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 10 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 3,0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
6	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
8	0,008	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
10	0,018	0,015	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012
12	0,036	0,030	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025
14	0,066	0,056	0,050	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
16	0,111	0,095	0,087	0,083	0,081	0,081	0,081	0,080	0,080
18	0,174	0,153	0,140	0,135	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131
20	0,260	0,234	0,217	0,209	0,205	0,204	0,203	0,203	0,203
22	0,368	0,341	0,321	0,311	0,307	0,305	0,304	0,303	0,303
24	0,502	0,479	0,458	0,447	0,443	0,440	0,440	0,439	0,439
26	0,664	0,651	0,634	0,625	0,621	0,619	0,618	0,618	0,618
28	0,859	0,857	0,853	0,851	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849
30	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
32	1,38	1,38	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51
34	1,72	1,71	1,80	1,88	1,93	1,95	1,96	1,97	1,97
36	2,13	2,10	2,23	2,36	2,45	2,49	2,51	2,52	2,52
38	2,62	2,54	2,71	2,92	3,06	3,13	3,17	3,19	3,20
40	3,21	3,05	3,26	3,55	3,76	3,89	3,95	3,98	4,00
42	3,90	3,65	3,87	4,26	4,58	4,77	4,87	4,92	4,95
44	4,72	4,35	4,57	5,06	5,50	5,78	5,94	6,02	6,06
46	5,68	5,16	5,36	5,95	6,54	6,94	7,17	7,29	7,36
48	6,80	6,10	6,25	6,93	7,69	8,24	8,57	8,76	8,86
50	8,09	7,17	7,26	8,03	8,96	9,70	10,17	10,43	10,58

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 10 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles Pt of 3,0

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	9,57	8,41	8,40	9,24	10,36	11,32	11,96	12,33	12,54
54	1,13	9,8	9,7	10,6	11,9	13,1	14,0	14,5	14,8
56	13,2	11,4	11,2	12,1	13,6	15,1	16,2	16,9	17,3
58	15,4	13,2	12,8	13,7	15,4	17,2	18,6	19,5	20,1
60	17,9	15,3	14,7	15,6	17,4	19,5	21,3	22,5	23,2
62	20,6	17,6	16,8	17,6	19,6	22,0	24,1	25,7	26,6
64	23,7	20,2	19,1	19,9	22,0	24,7	27,3	29,2	30,4
66	27,2	23,1	21,7	22,4	24,6	27,6	30,6	33,0	34,6
68	31,1	26,3	24,6	25,2	27,4	30,8	34,3	37,1	39,2
70	35,4	29,8	27,8	28,2	30,6	34,2	38,2	41,6	44,1
72	40,1	33,8	31,3	31,6	34,0	37,9	42,3	46,4	49,4
74	45,3	38,1	35,2	35,4	37,7	41,8	46,8	51,5	55,2
76	51,1	42,9	39,5	39,5	41,8	46,1	51,5	56,9	61,3
78	57,4	48,2	44,3	44,0	46,3	50,7	56,6	62,7	67,9
80	64,3	53,9	49,4	48,9	51,1	55,8	62,1	68,9	74,9
82	71,8	60,2	55,1	54,3	56,5	61,2	67,9	75,5	82,4
84	80,0	67,0	61,2	60,2	62,2	67,0	74,2	82,4	90,3
86	89,0	74,5	67,9	66,5	68,5	73,4	80,8	89,8	98,7
88	98,7	82,5	75,2	73,5	75,3	80,2	88,0	97,7	107,5
90	109	91	83	81	83	88	96	106	117

Sumber: AASHTO (1993)

Lampiran 11 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 3,0

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
6	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
8	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
10	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
12	0,013	0,011	0,01	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
14	0,023	0,02	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016
16	0,039	0,033	0,03	0,028	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027
18	0,061	0,052	0,047	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043
20	0,091	0,078	0,071	0,068	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066
22	0,132	0,114	0,104	0,1	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097
24	0,183	0,161	0,148	0,143	0,14	0,139	0,139	0,138	0,138
26	0,246	0,221	0,205	0,198	0,195	0,193	0,193	0,192	0,192
28	0,322	0,296	0,277	0,268	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262
30	0,411	0,387	0,367	0,357	0,353	0,351	0,35	0,349	0,349
32	0,515	0,495	0,476	0,466	0,462	0,46	0,459	0,458	0,458
34	0,634	0,622	0,607	0,599	0,595	0,594	0,593	0,592	0,592
36	0,772	0,768	0,762	0,758	0,756	0,756	0,755	0,755	0,755
38	0,93	0,934	0,942	0,947	0,949	0,95	0,951	0,951	0,951
40	1,11	1,12	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
42	1,32	1,33	1,38	1,42	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46
44	1,56	1,56	1,64	1,71	1,75	1,77	1,78	1,78	1,78
46	1,84	1,83	1,94	2,04	2,1	2,14	2,15	2,16	2,16
48	2,16	2,12	2,26	2,41	2,51	2,56	2,58	2,59	2,6
50	2,53	2,45	2,61	2,82	2,96	3,03	3,07	3,09	3,1

Sumber: AASHTO (1993)

Lanjutan Lampiran 11 Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles Pt of 3,0

<i>Axle Load (kips)</i>	<i>Slab Thickness, D (inches)</i>								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
52	2,95	2,82	3,01	3,27	3,47	3,58	3,63	3,66	3,68
54	3,43	3,23	3,43	3,77	4,03	4,18	4,27	4,31	4,33
56	3,98	3,7	3,9	4,31	4,65	4,86	4,98	5,04	5,07
58	4,59	4,22	4,42	4,9	5,34	5,62	5,78	5,86	5,9
60	5,28	4,8	4,99	5,54	6,08	6,45	6,66	6,78	6,84
62	6,06	5,45	5,61	6,23	6,89	7,36	7,64	7,8	7,88
64	6,92	6,18	6,29	6,98	7,76	8,36	8,72	8,93	9,04
66	7,89	6,98	7,05	7,78	8,7	9,44	9,91	10,18	10,33
68	8,96	7,88	7,87	8,66	9,71	10,61	11,2	11,55	11,75
70	10,2	8,9	8,8	9,6	10,8	11,9	12,6	13,1	13,3
72	11,5	10	9,8	10,6	12	13,2	14,1	14,7	15
74	12,9	11,2	10,9	11,7	13,2	14,7	15,8	16,5	16,9
76	14,5	12,5	12,1	12,9	14,5	16,2	17,5	18,4	18,9
78	16,2	13,9	13,4	14,2	15,9	17,8	19,4	20,5	21,1
80	18,2	15,5	14,8	15,6	17,4	19,6	21,4	22,7	23,5
82	20,2	17,2	16,4	17,2	19,1	21,4	23,5	25,1	26,1
84	22,5	19,1	18,1	18,8	20,8	23,4	25,8	27,6	28,8
86	25	21,2	19,9	20,6	22,6	25,5	28,2	30,4	31,8
88	27,6	23,4	21,9	22,5	24,6	27,7	30,7	33,2	35
90	30,5	25,8	24,1	24,6	26,8	30	33,4	36,3	38,3

Sumber: AASHTO (1993)



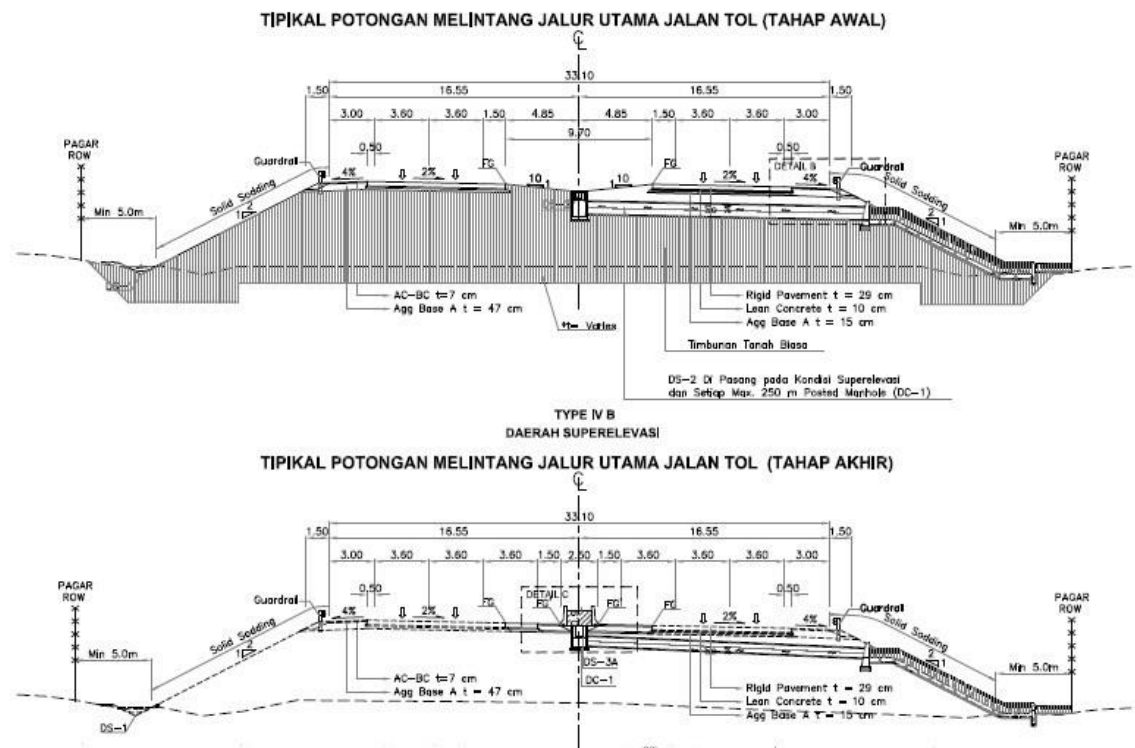
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL V
KELOMPOK KERJA PENGADAAN JASA KONSULTASI
SATKER PELAKSANAAN JALAN BEBAS HAMBATAN SOLO-KERTOSONO
JL. MT. Haryono Gg. Rajawadi No.4 Madyah, Surakarta Telp. (0271)7311981

PERENCANAAN TEKNIK AKHIR JALAN TOL
SOLO - NGAWI DAN NGAWI - KERTOSONO
RUAS : COLOMADU - KARANGANYAR

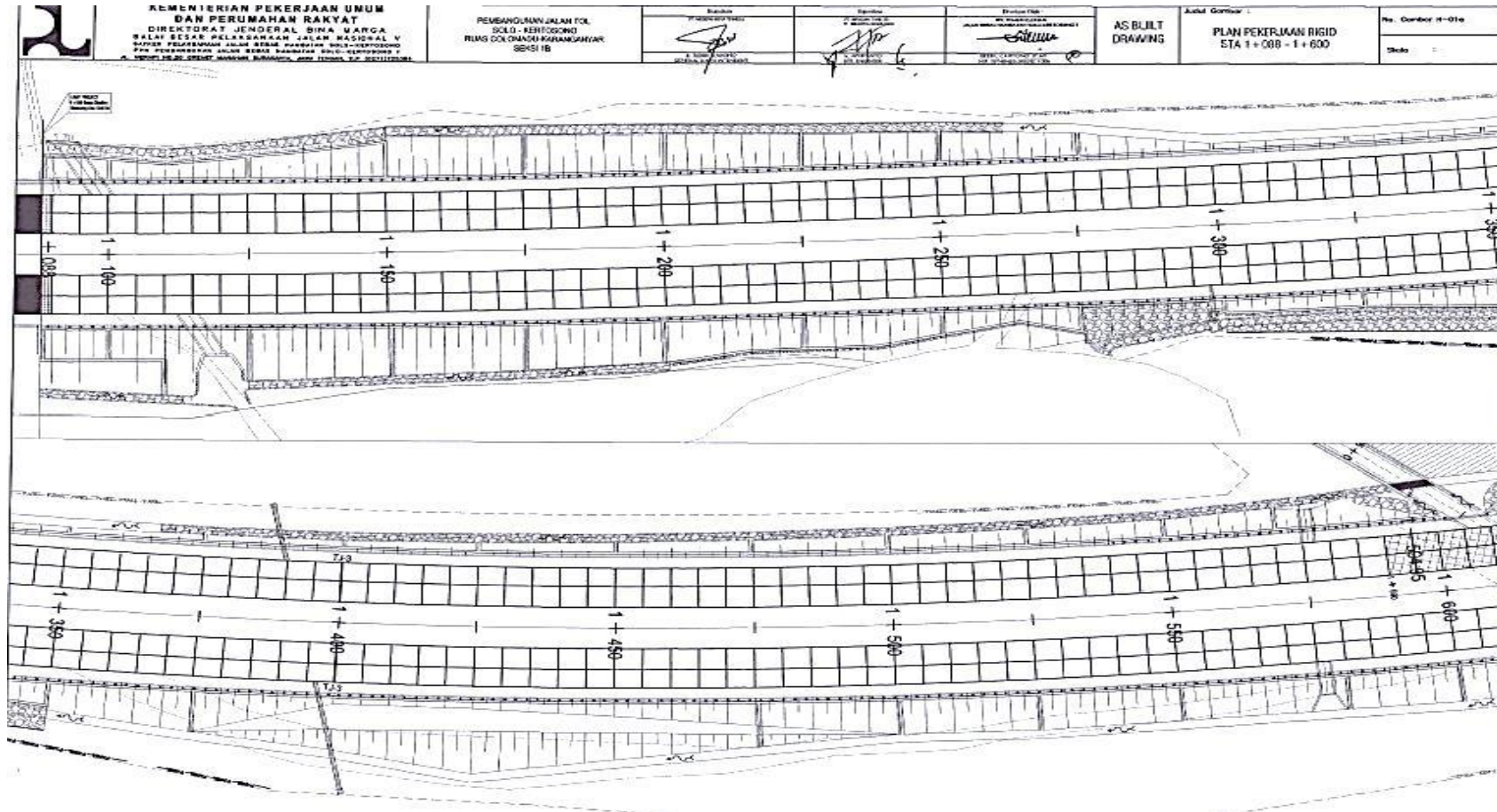
KONSULTAN PERENCANA : PT. ANUGERAH KRIDA PRADANA
Direkanan Oleh: *[Signature]*
Ir. Nestril Umam, MT
Disetujui Oleh: *[Signature]*
Ir. Agus Hidayat

Judul Gambar :
TIPKAL POTONGAN MELINTANG MAIN ROAD
PADA DAERAH SUPERELEVASI

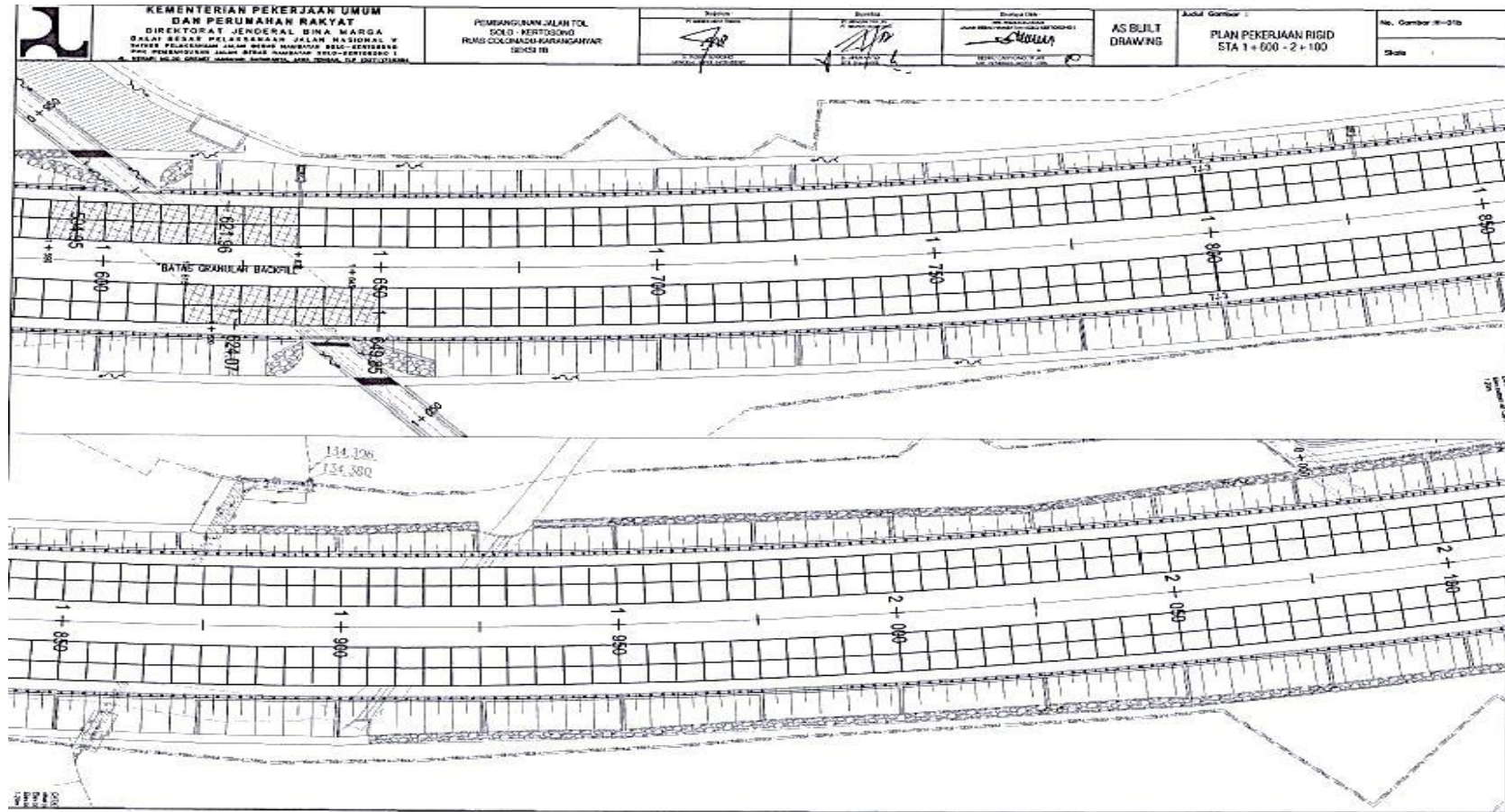
No. Gambar: B0-04
Skala : 1:1:300



Lampiran 12 Struktur Perkerasan Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B Arah Melintang Jalan
(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)



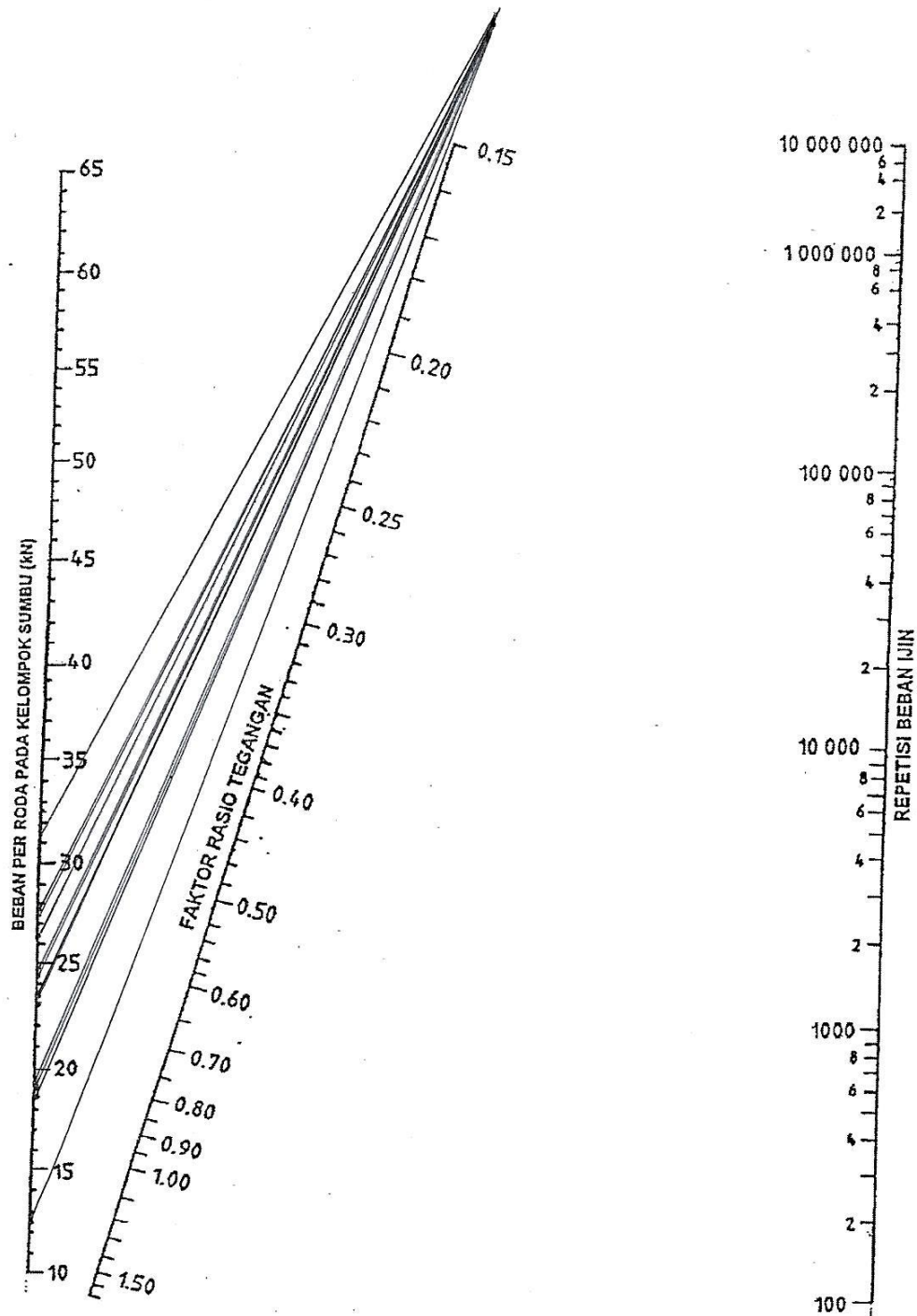
Lampiran 13 Perkerasan Kaku Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B Tampak Atas Sta 1+100 Sampai 1+600
 (Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)



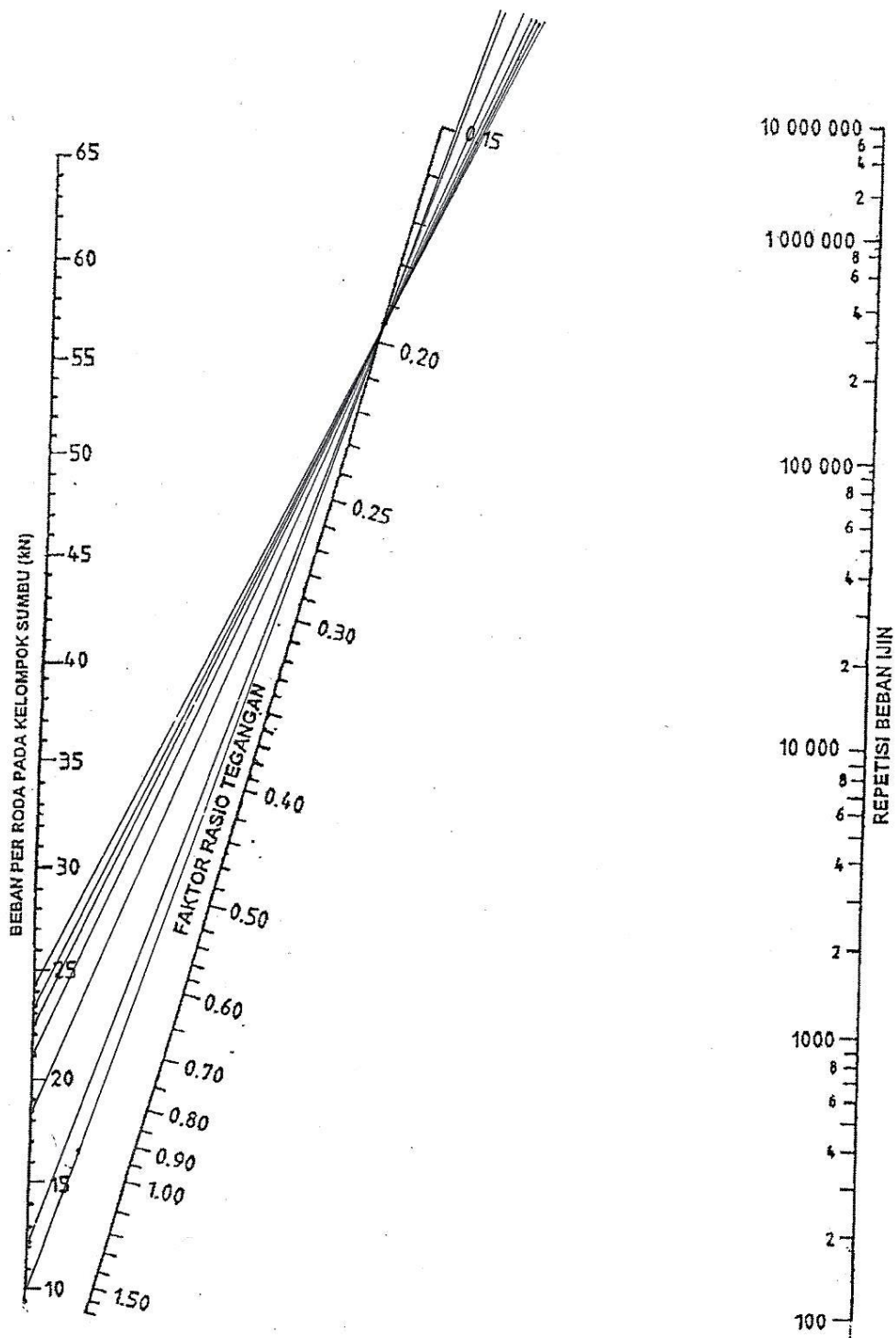
Lampiran 14 Perkerasan Kaku Ruas Colomadu-Karanganyar Seksi I B Tampak Atas Sta 1+600 Sampai 2+100

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)

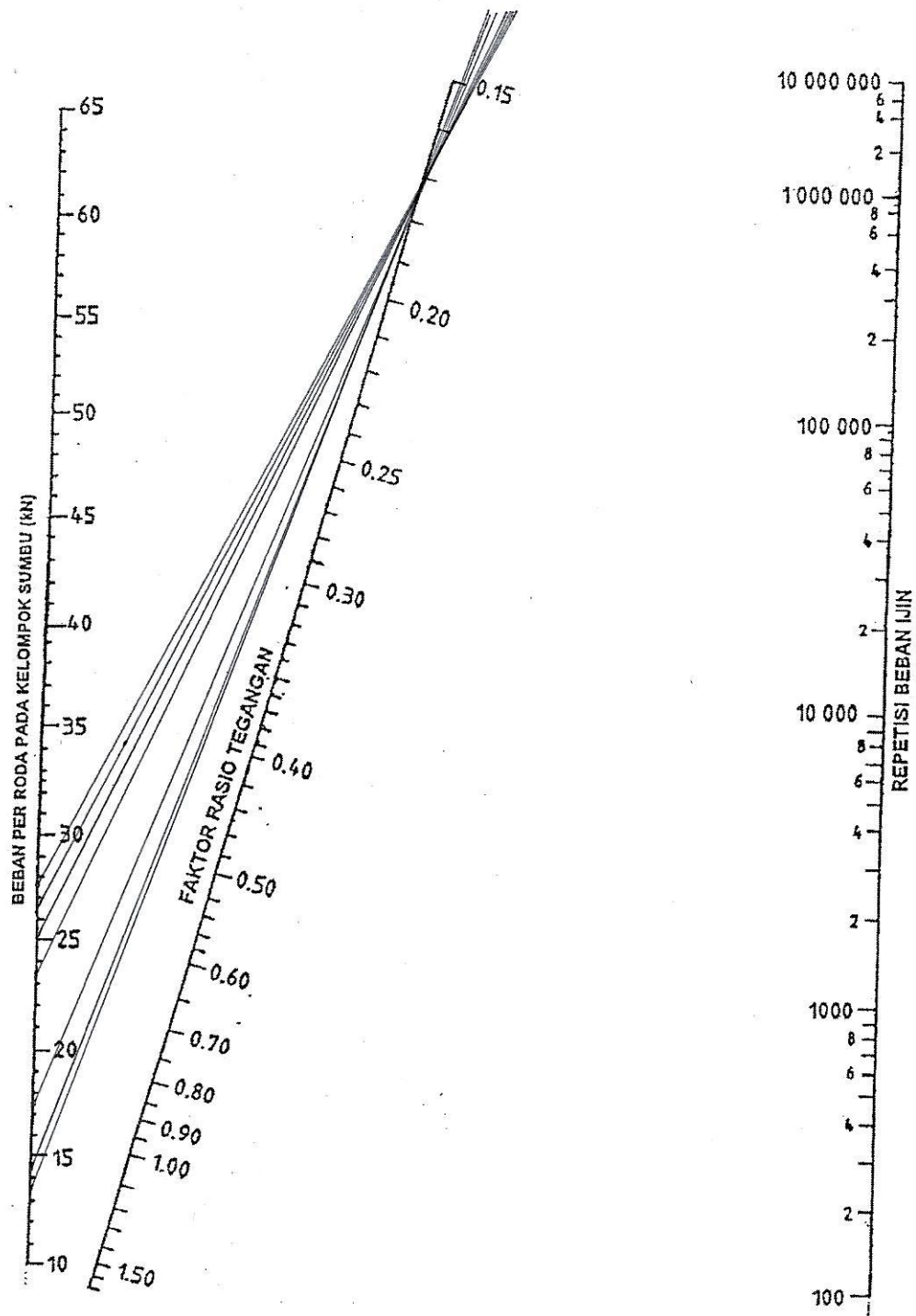
Lampiran 15 Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio Tegangan,
Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 270 mm



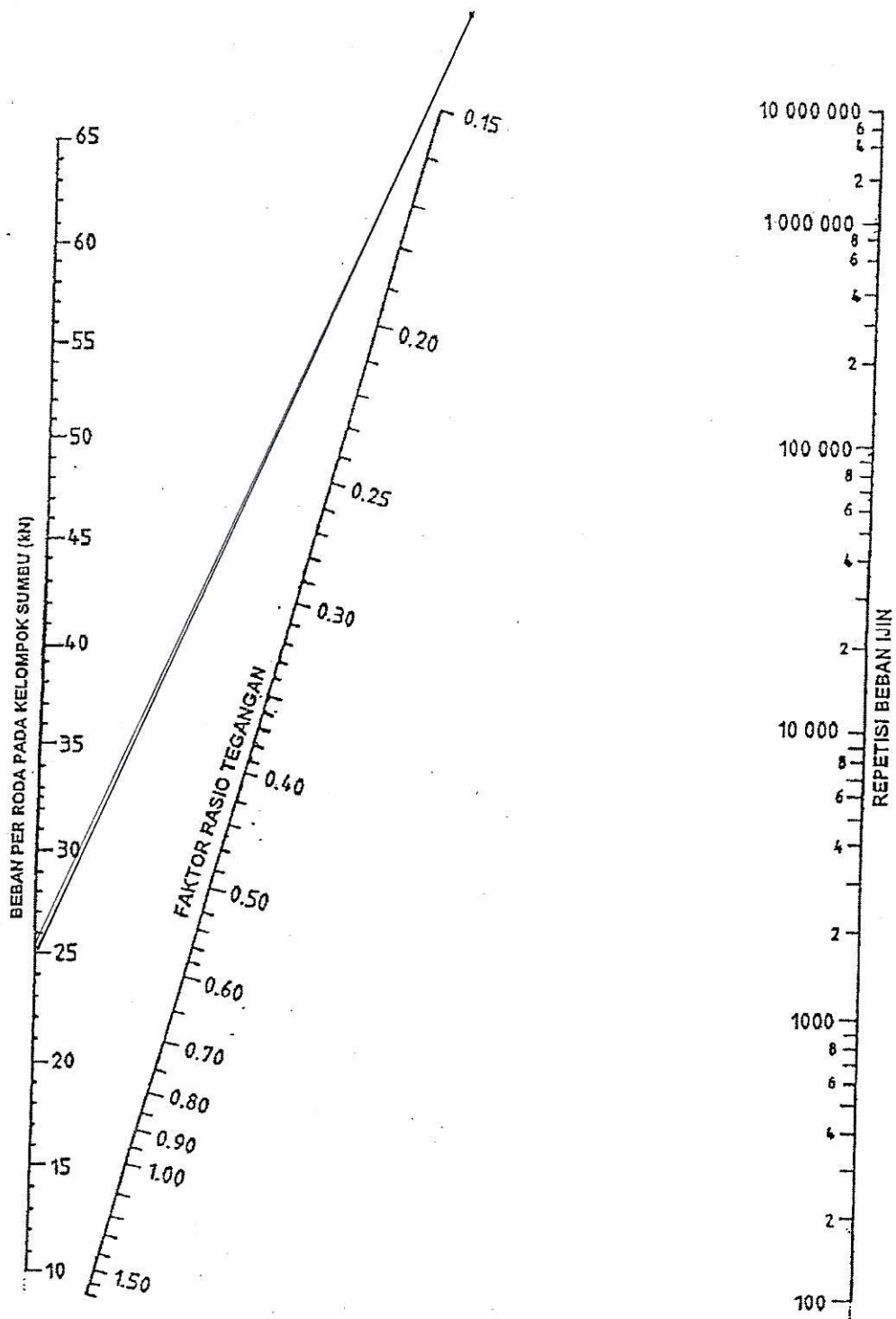
Gambar L-15.1 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran
270 mm



Gambar L-15.2 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 270 mm

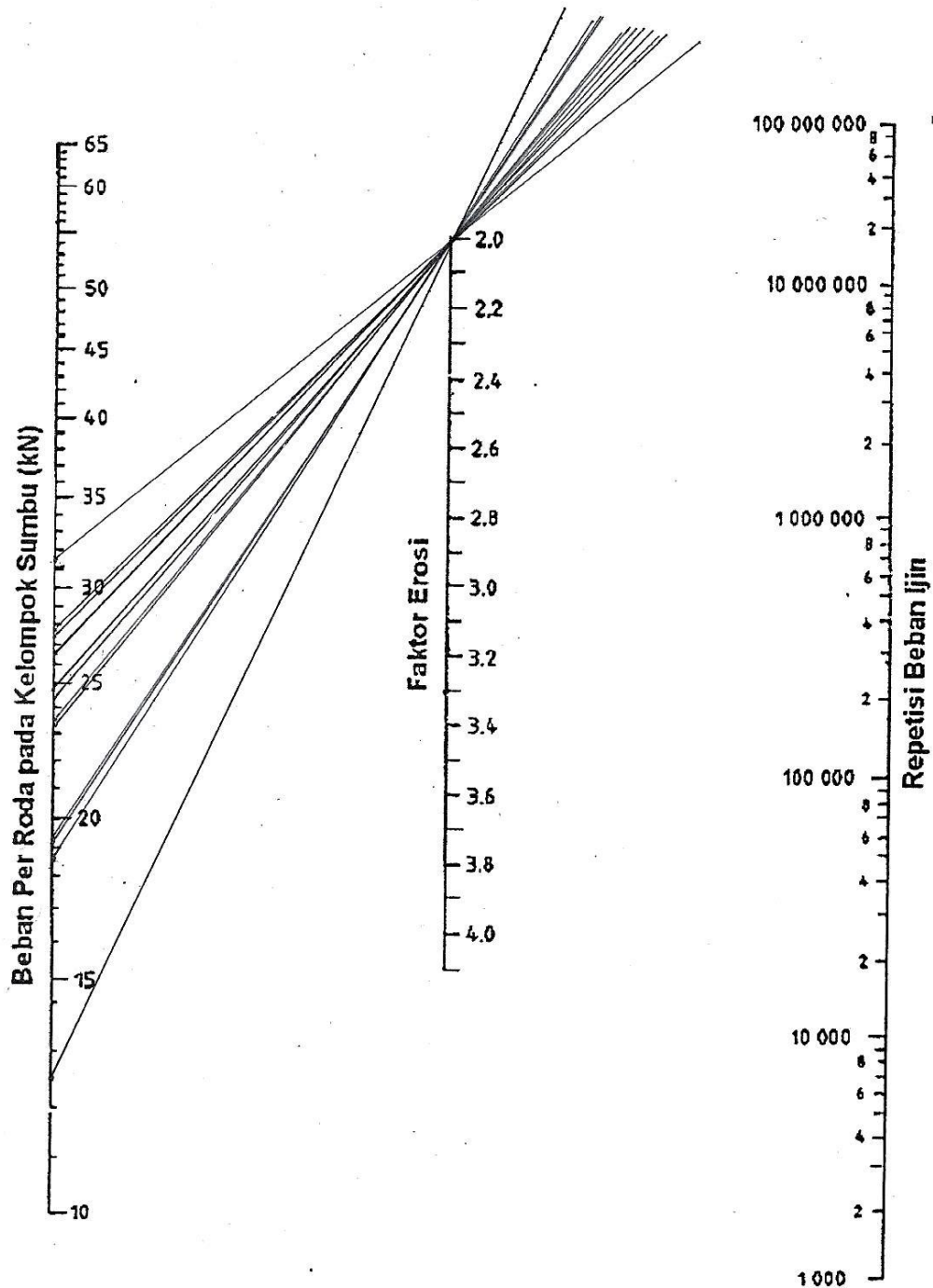


Gambar L-15.3 Analisis Fatik Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran
270 mm

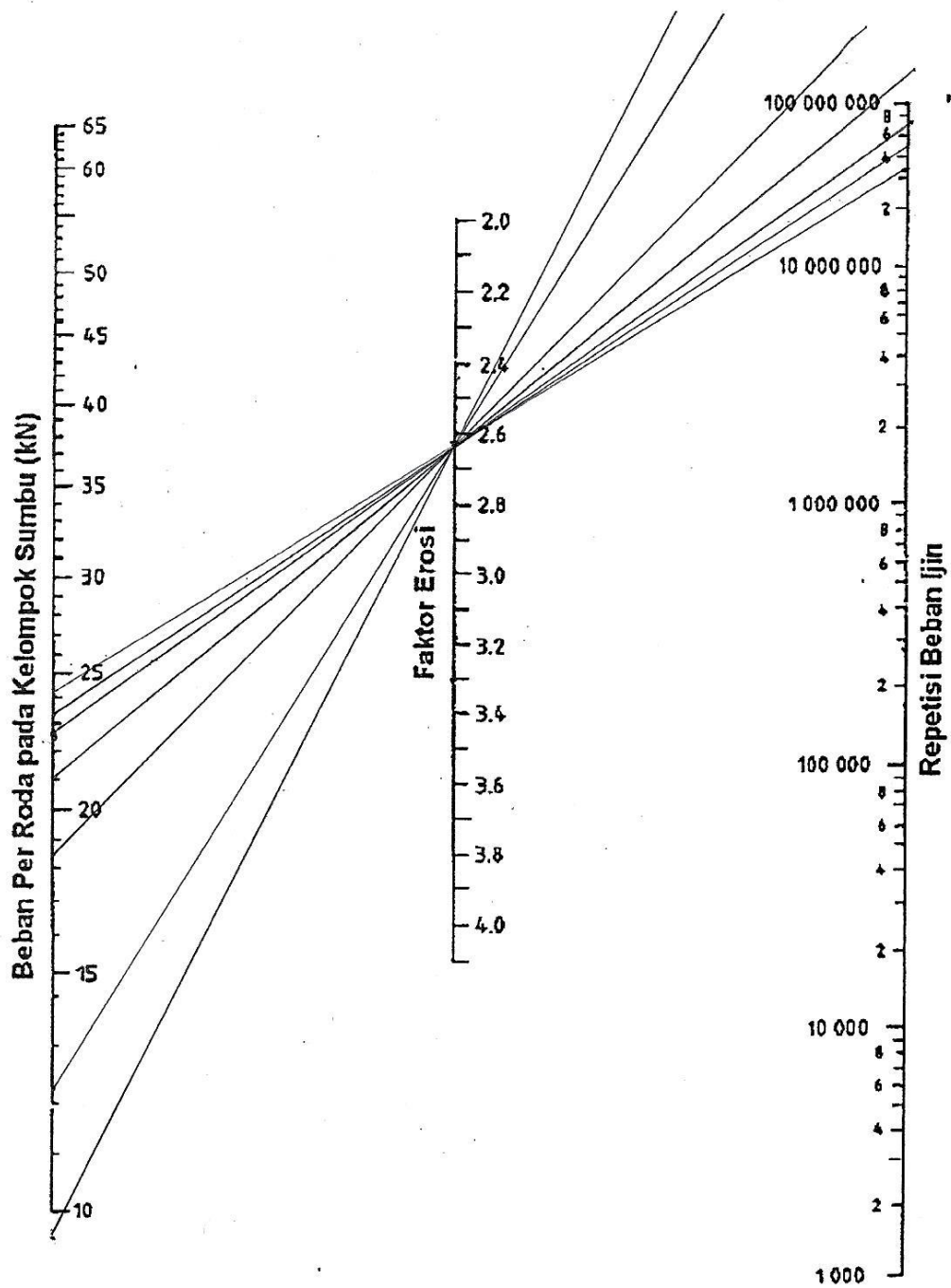


Gambar L-15.4 Analisis Fatik Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 270 mm

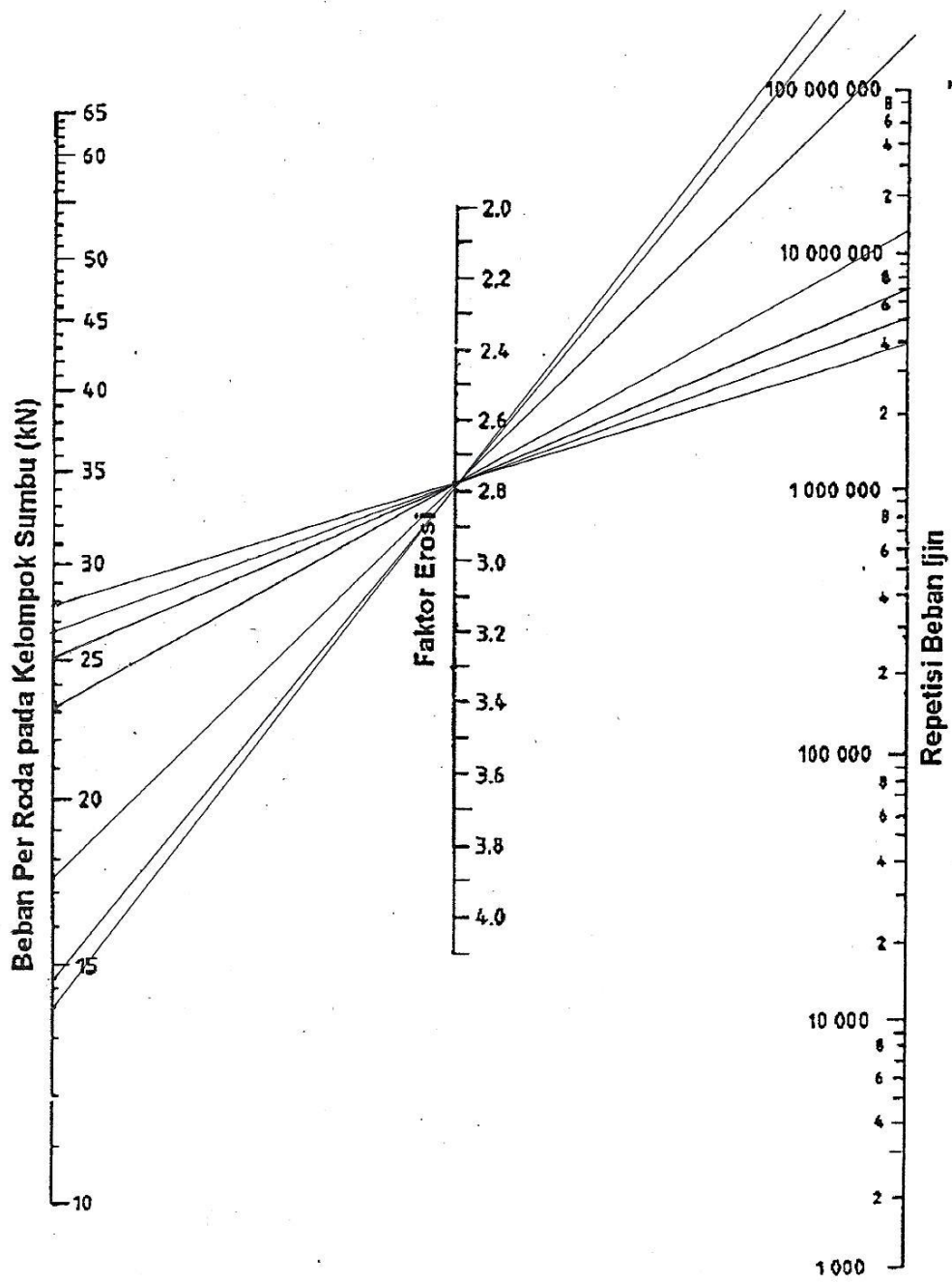
Lampiran 16 Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 270 mm



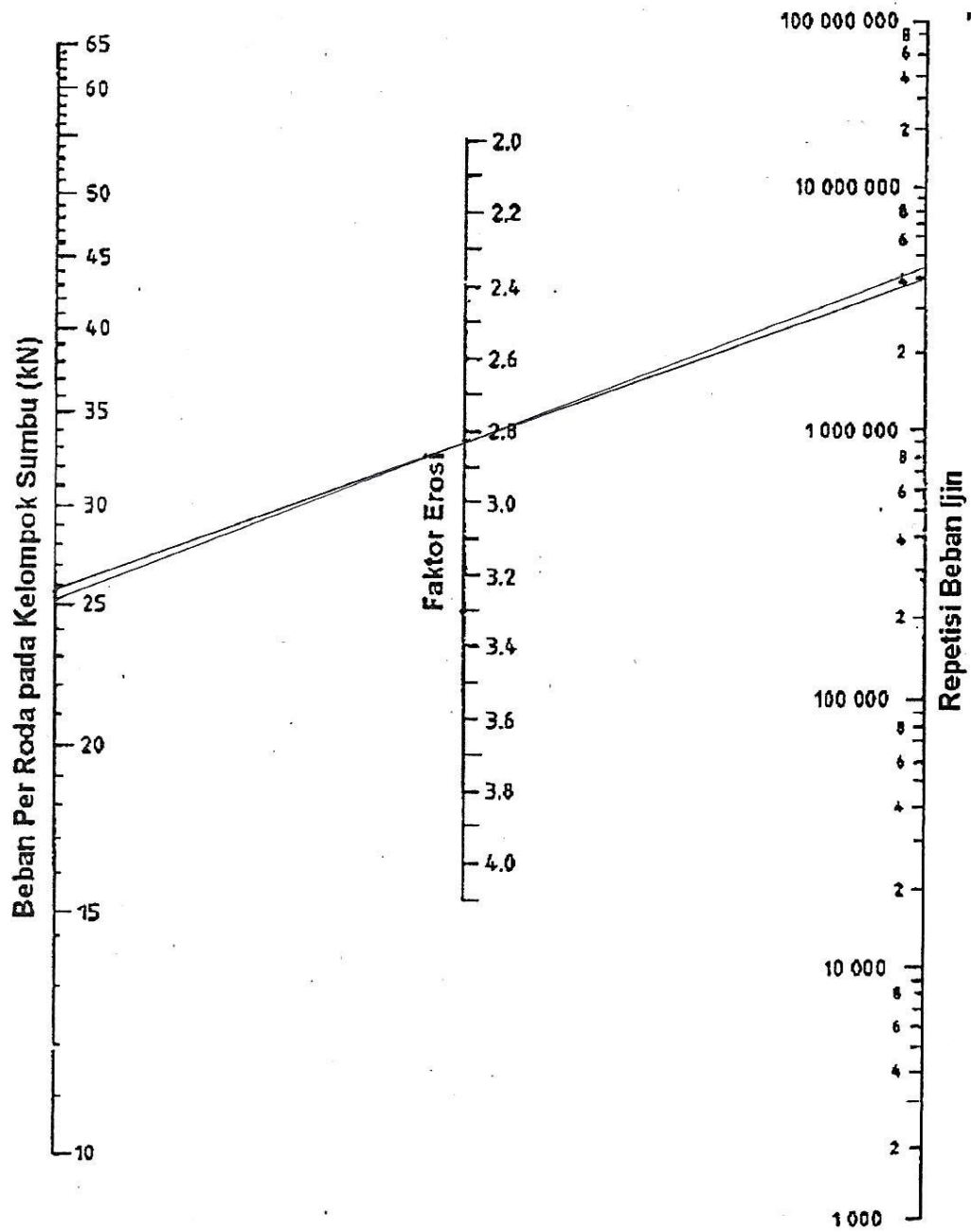
Gambar L-16.1 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran 270 mm



Gambar L-16.2 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 270 mm

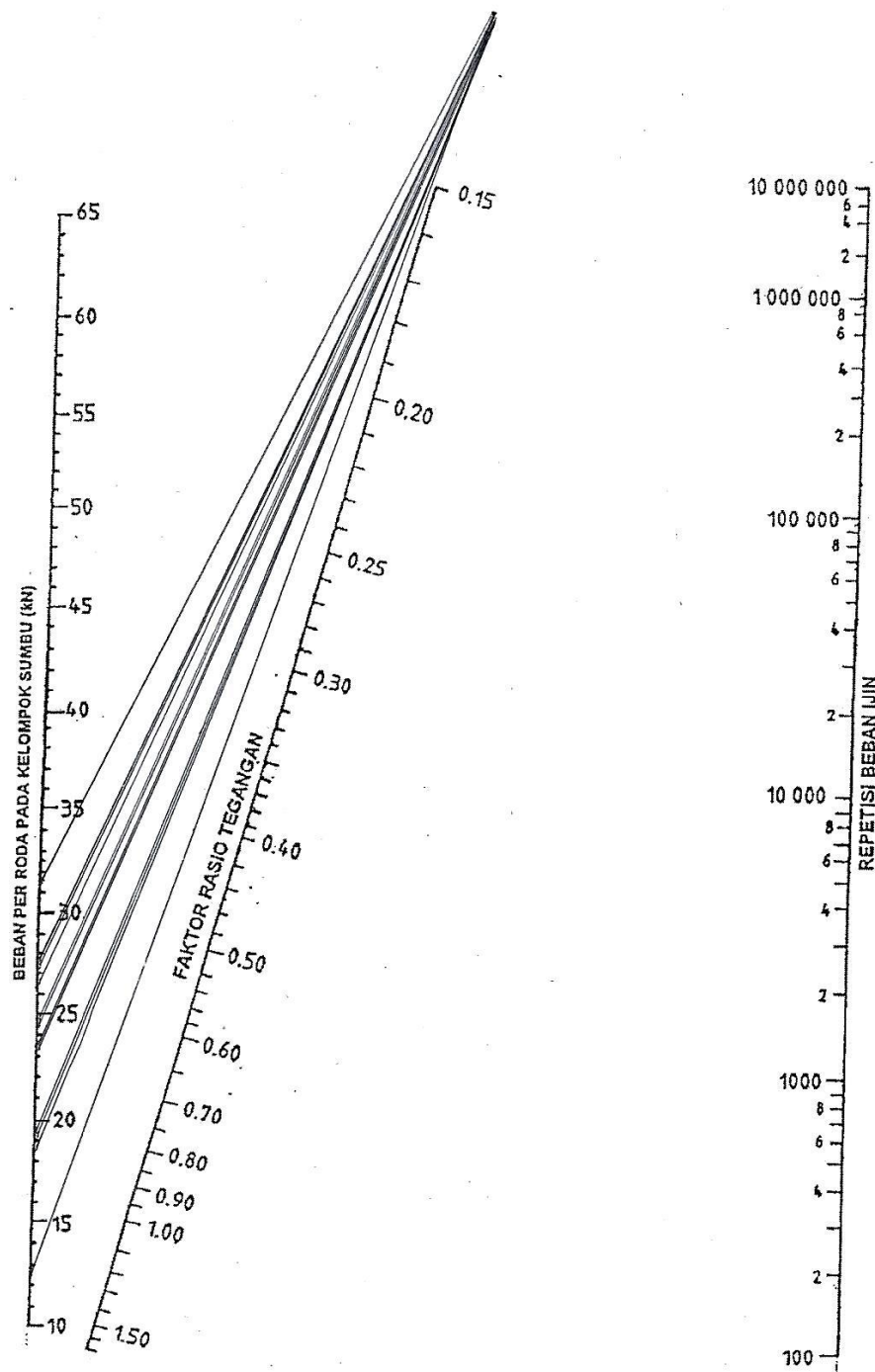


Gambar L-16.3 Analisis Erosi Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran 270 mm

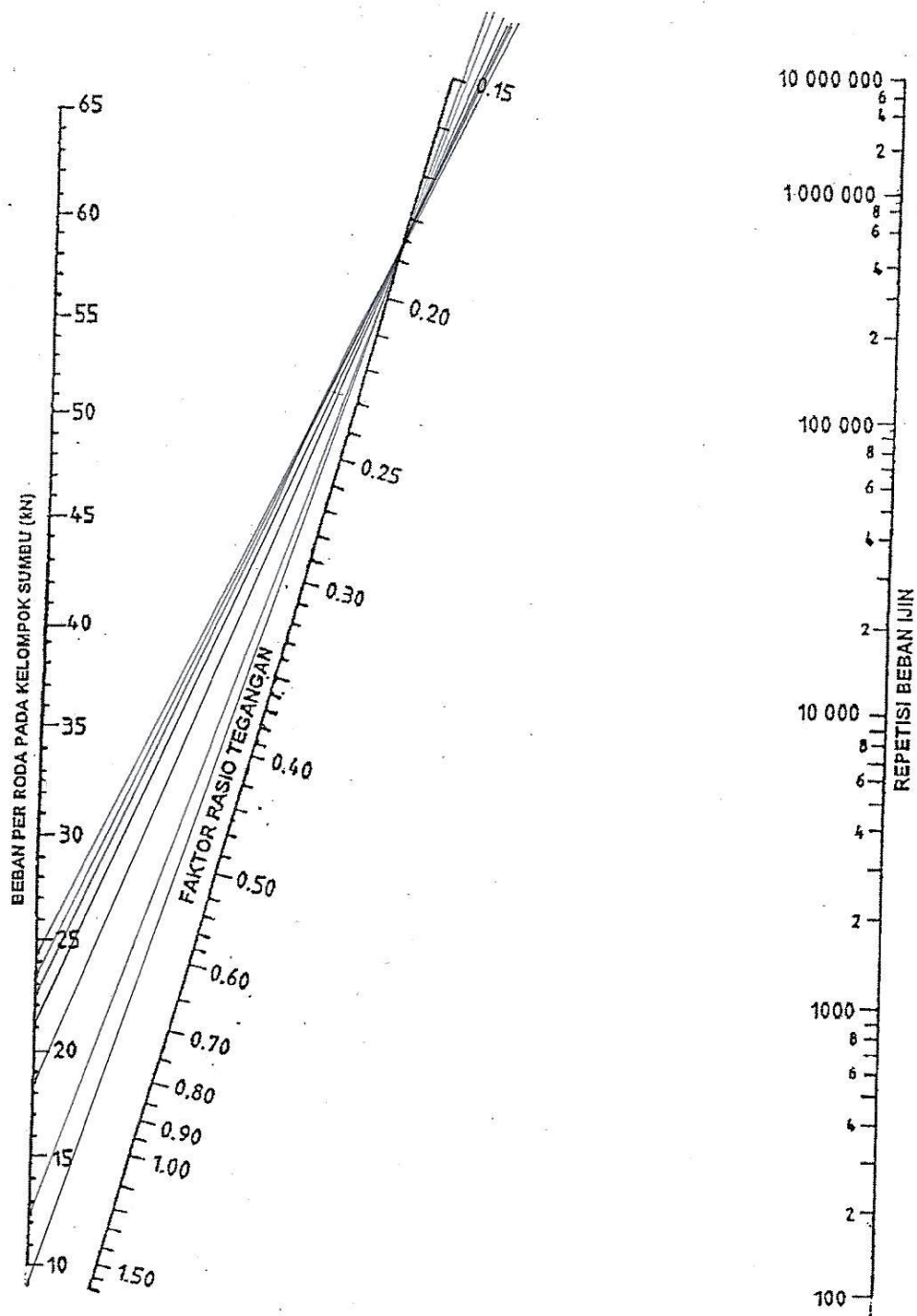


Gambar L-16.4 Analisis Erosi Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 270 mm

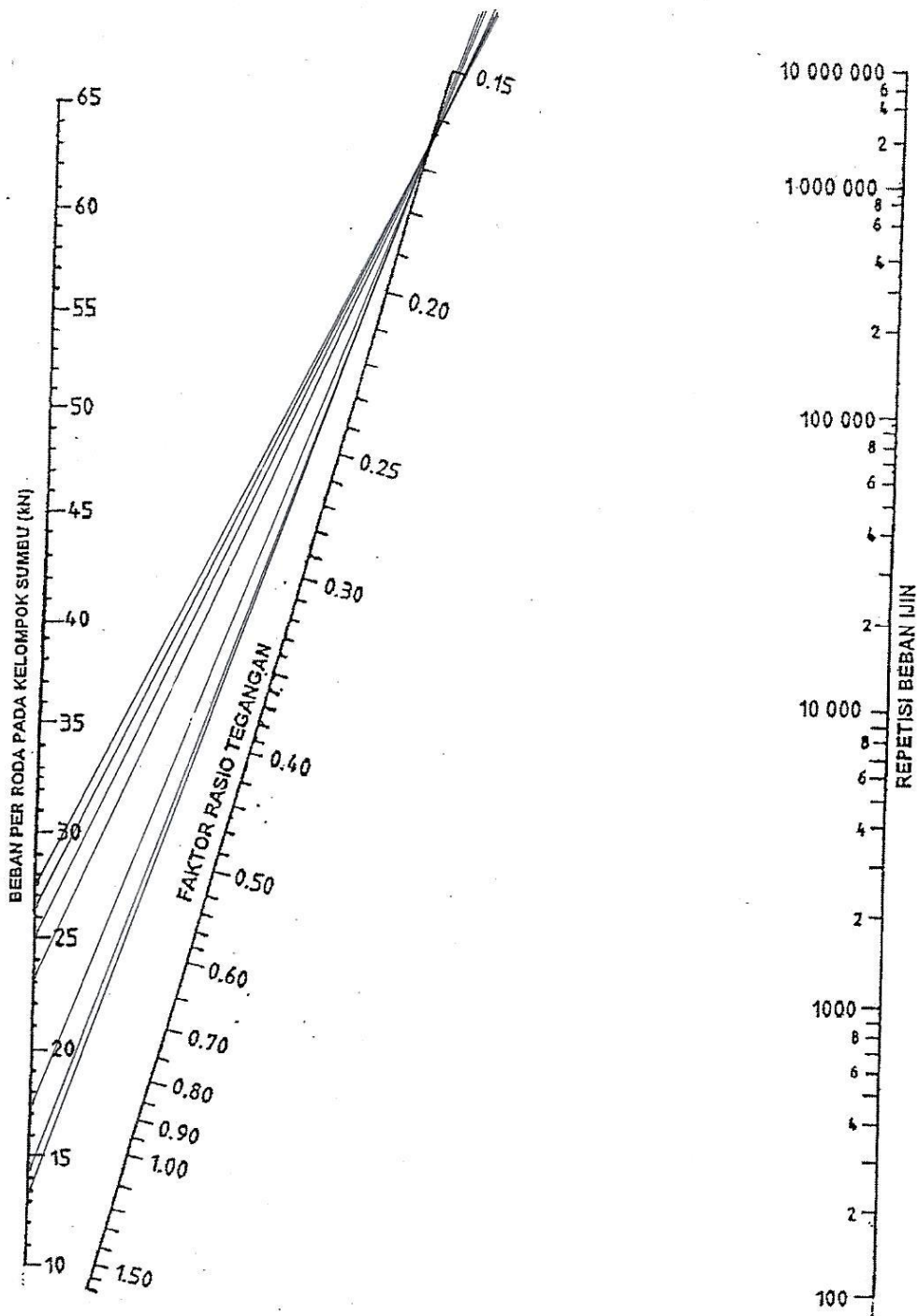
**Lampiran 17 Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio Tegangan,
Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 280 mm**



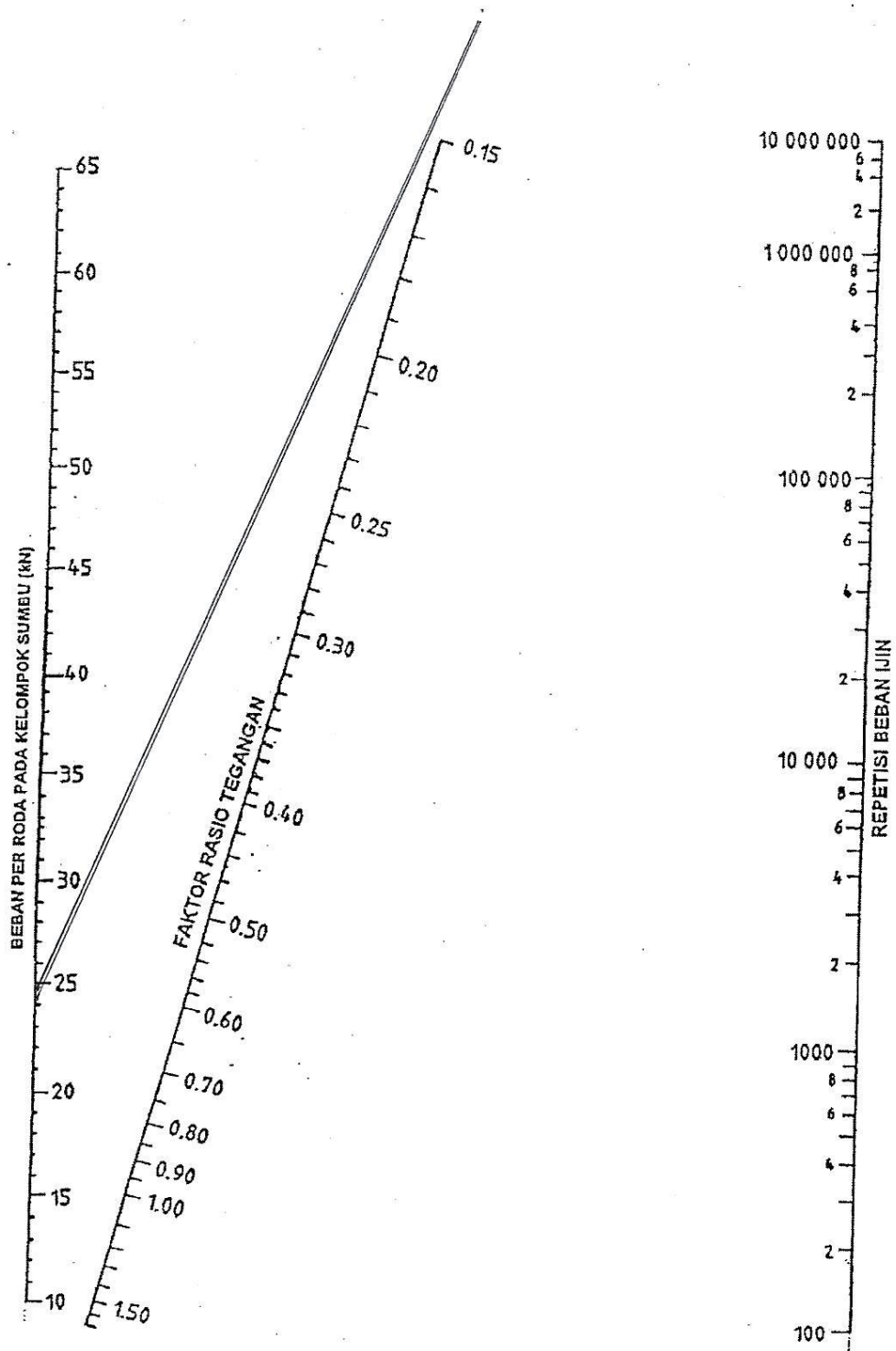
**Gambar L-17.1 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran
280 mm**



Gambar L-17.2 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 280 mm

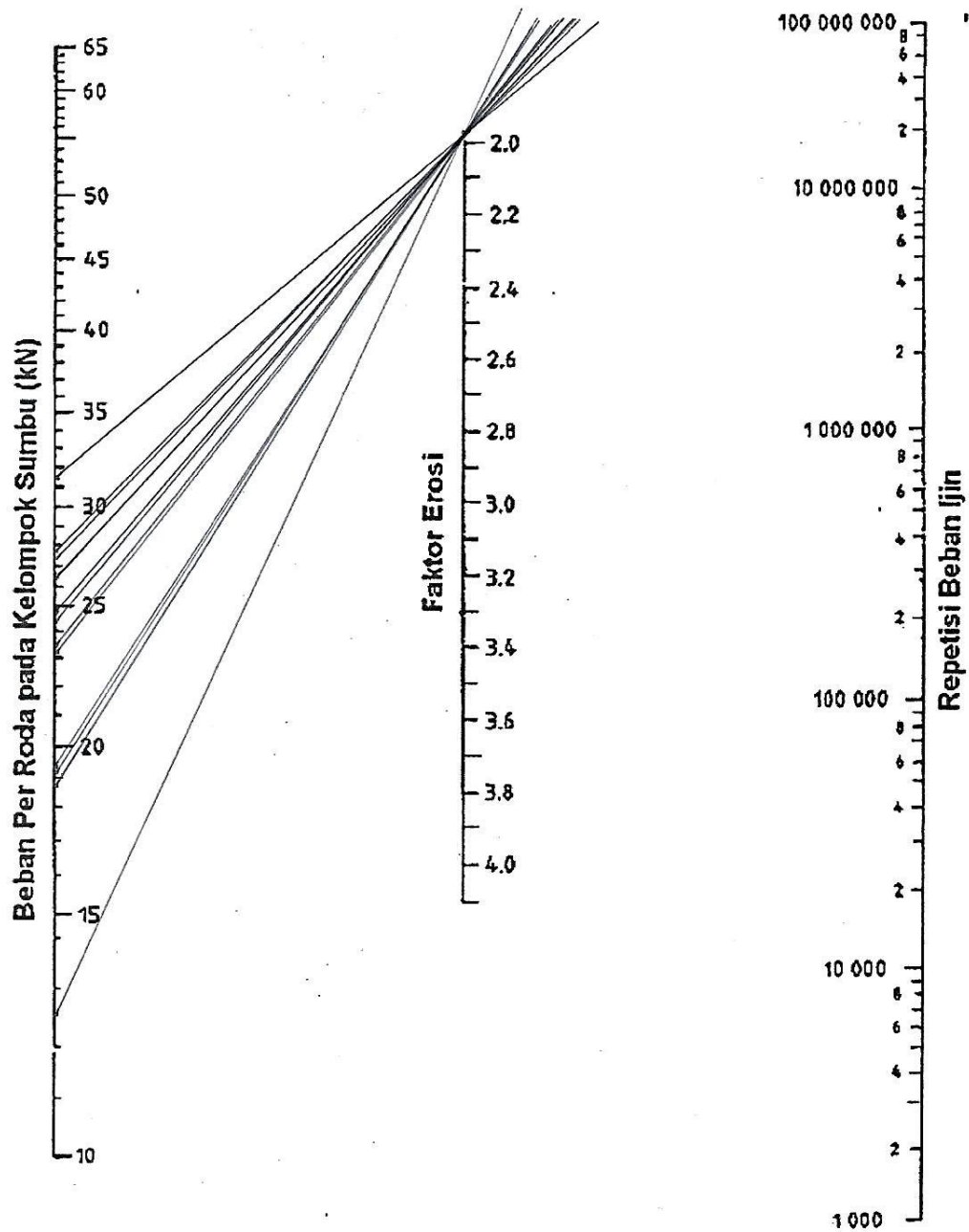


Gambar L-17.3 Analisis Fatik Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran 280 mm

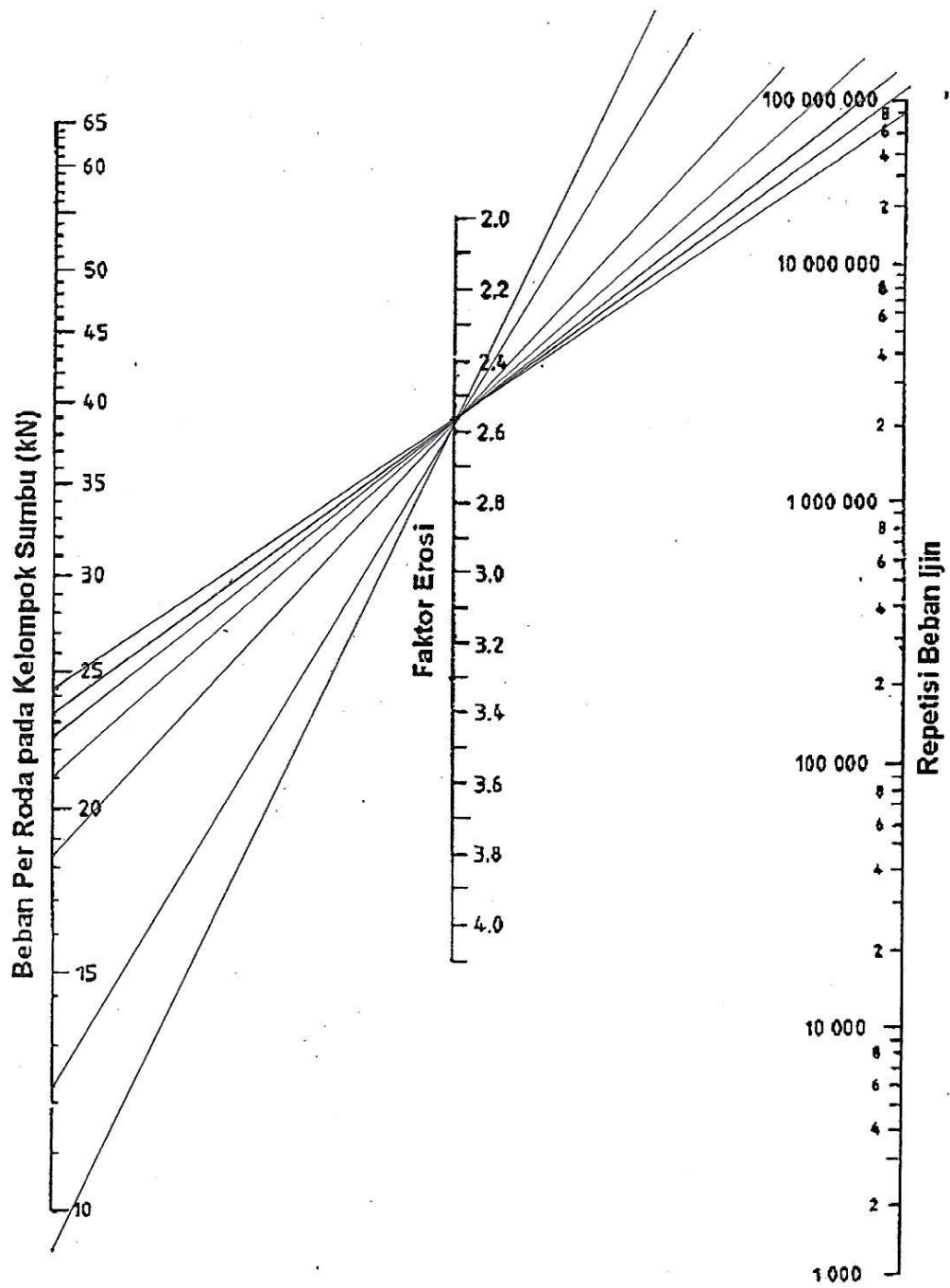


Gambar L-17.4 Analisis Fatik Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 280 mm

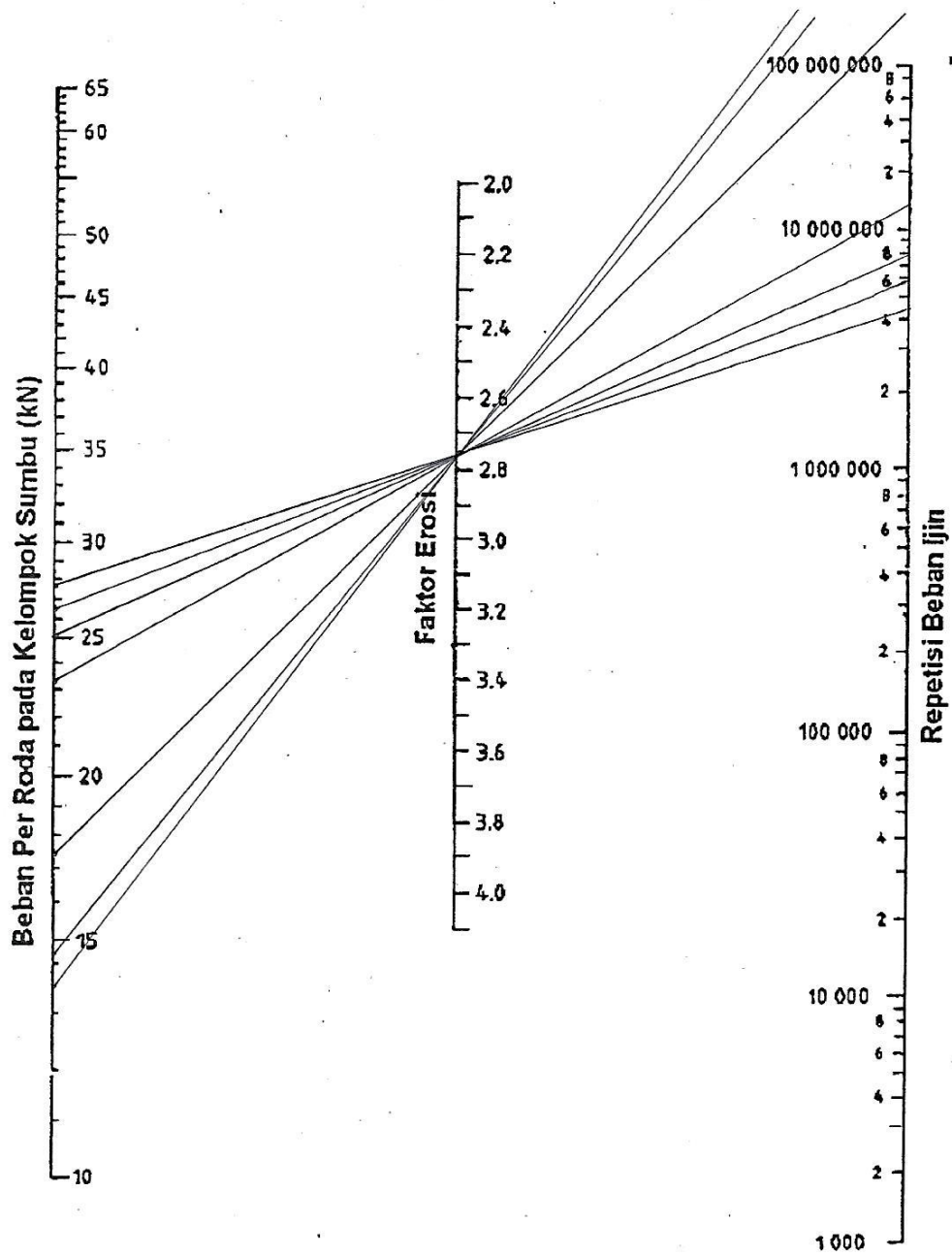
Lampiran 18 Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 280 mm



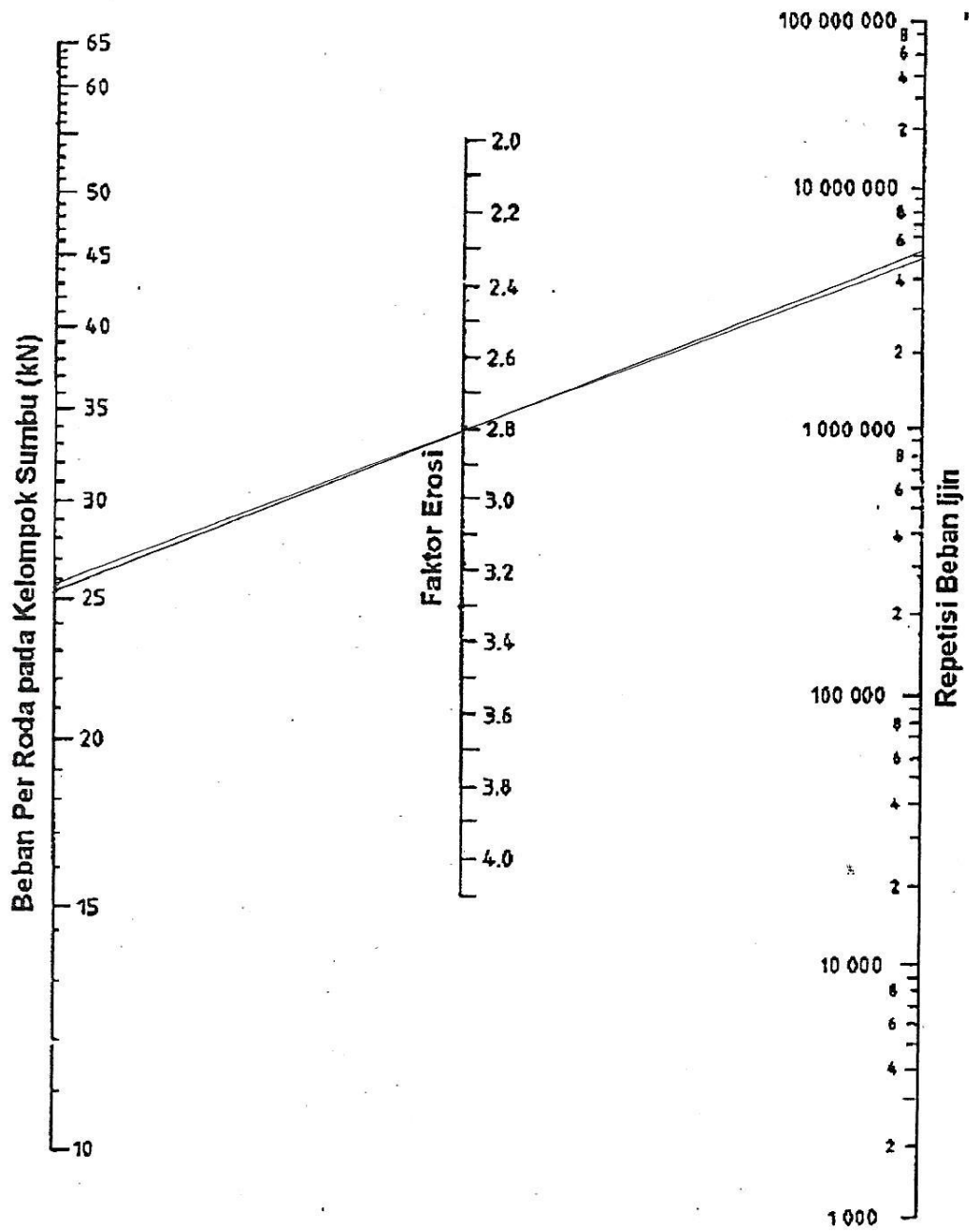
Gambar L-18.1 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran 280 mm



Gambar L-18.2 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 280 mm

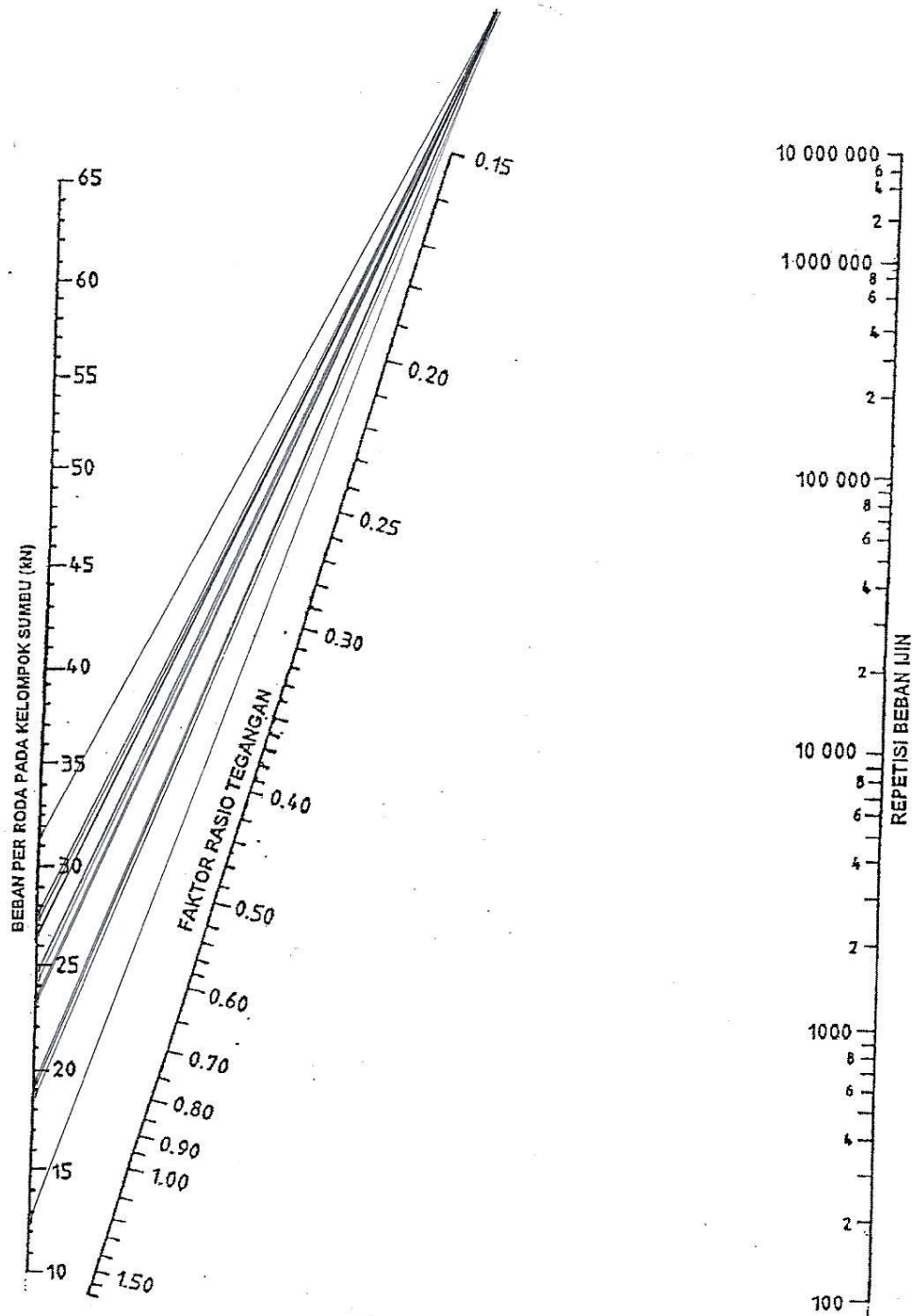


Gambar L-18.3 Analisis Erosi Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran
280 mm

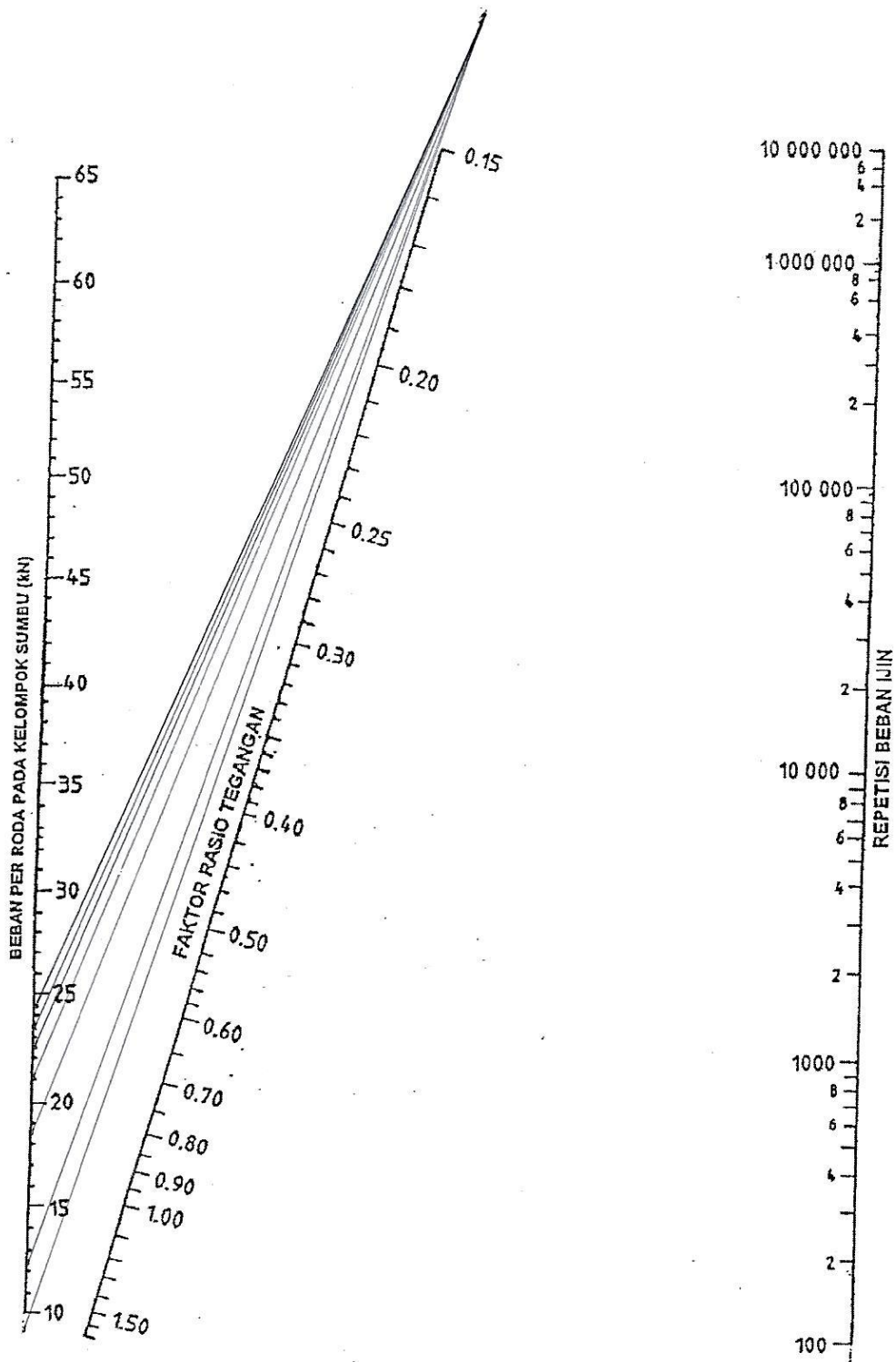


Gambar L-18.4 Analisis Erosi Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 280 mm

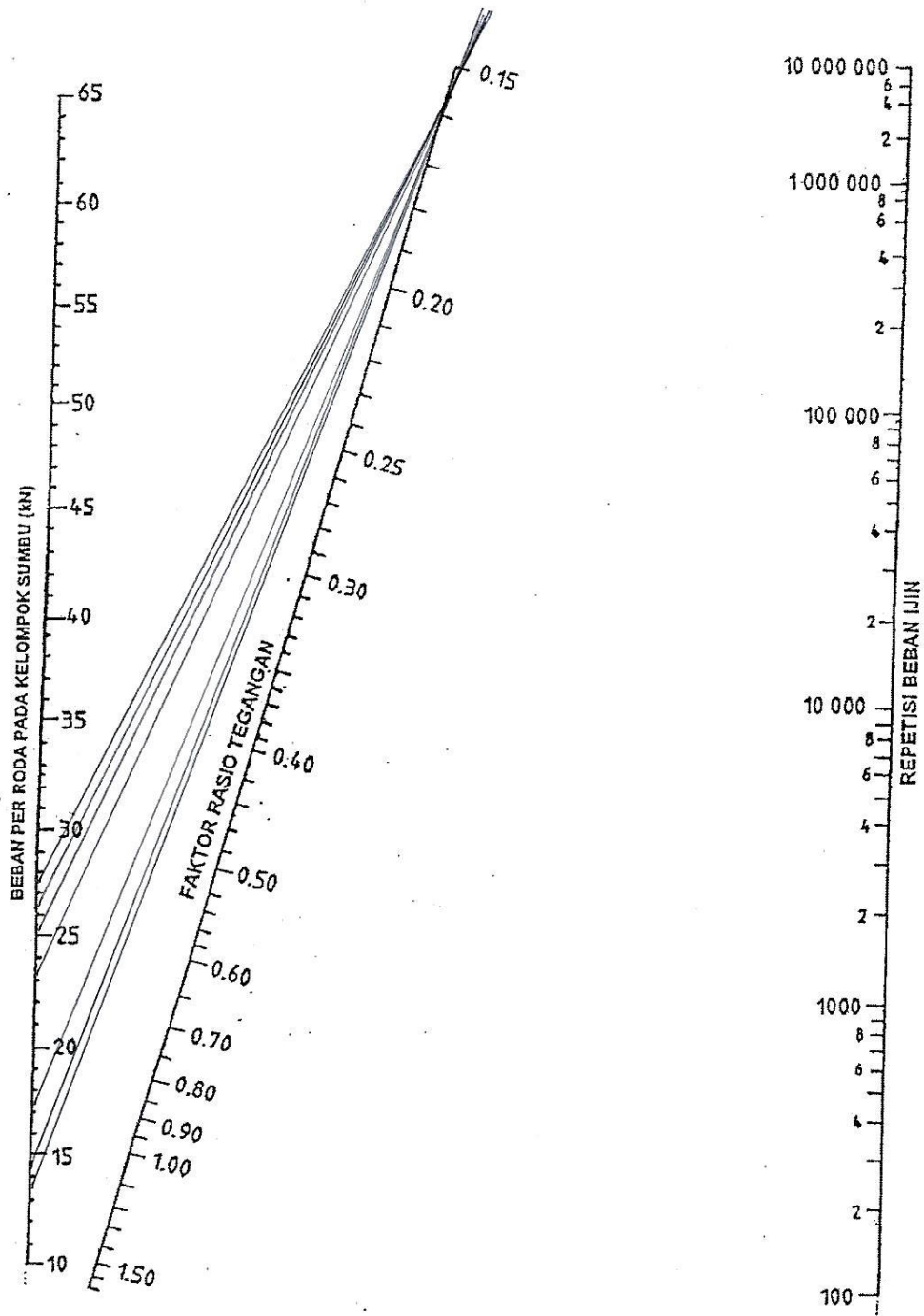
**Lampiran 19 Grafik Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Rasio Tegangan,
Dengan/Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 290 mm**



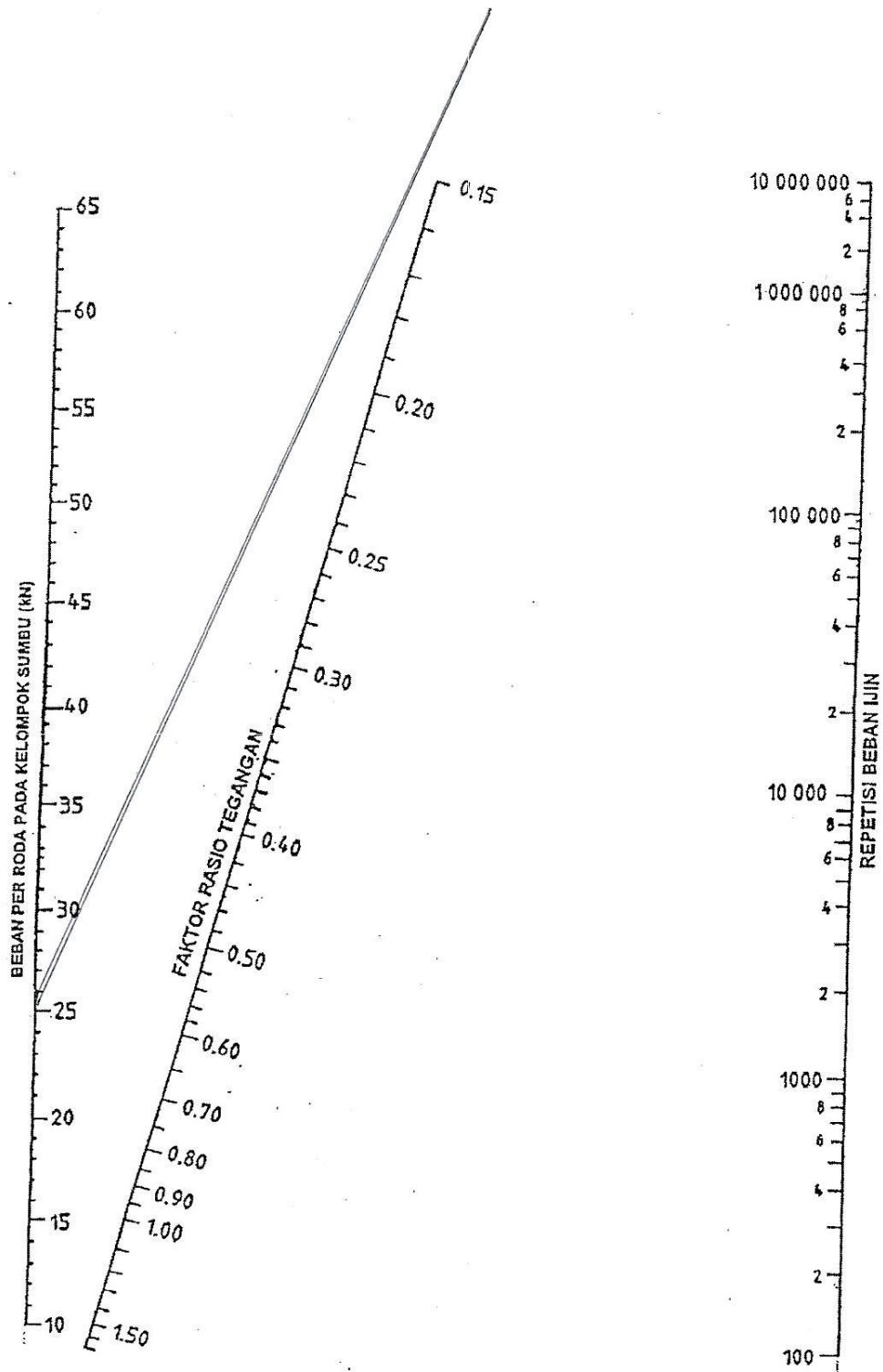
**Gambar L-19.1 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran
290 mm**



Gambar L-19.2 Analisis Fatik Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm

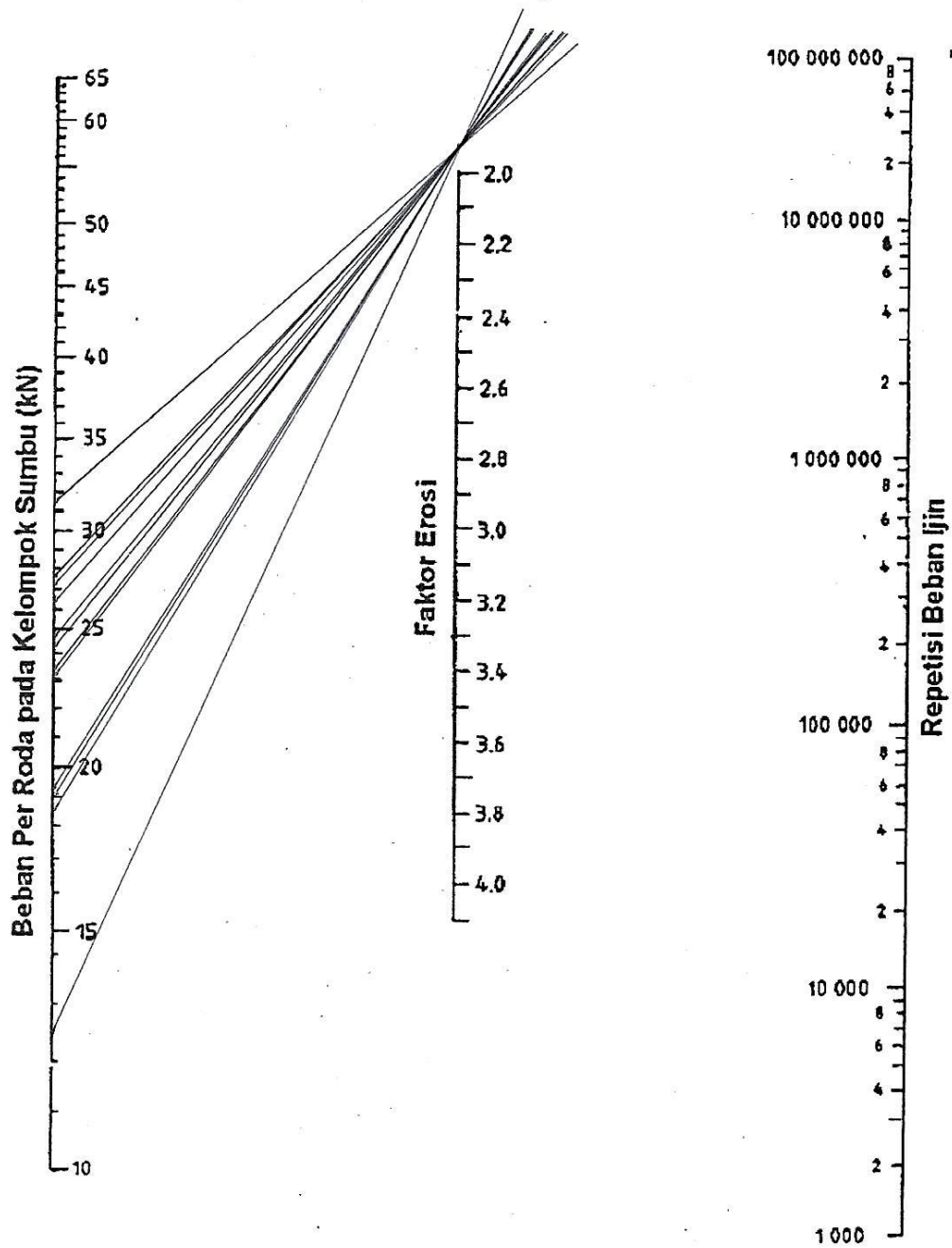


Gambar L-19.3 Analisis Fatik Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm

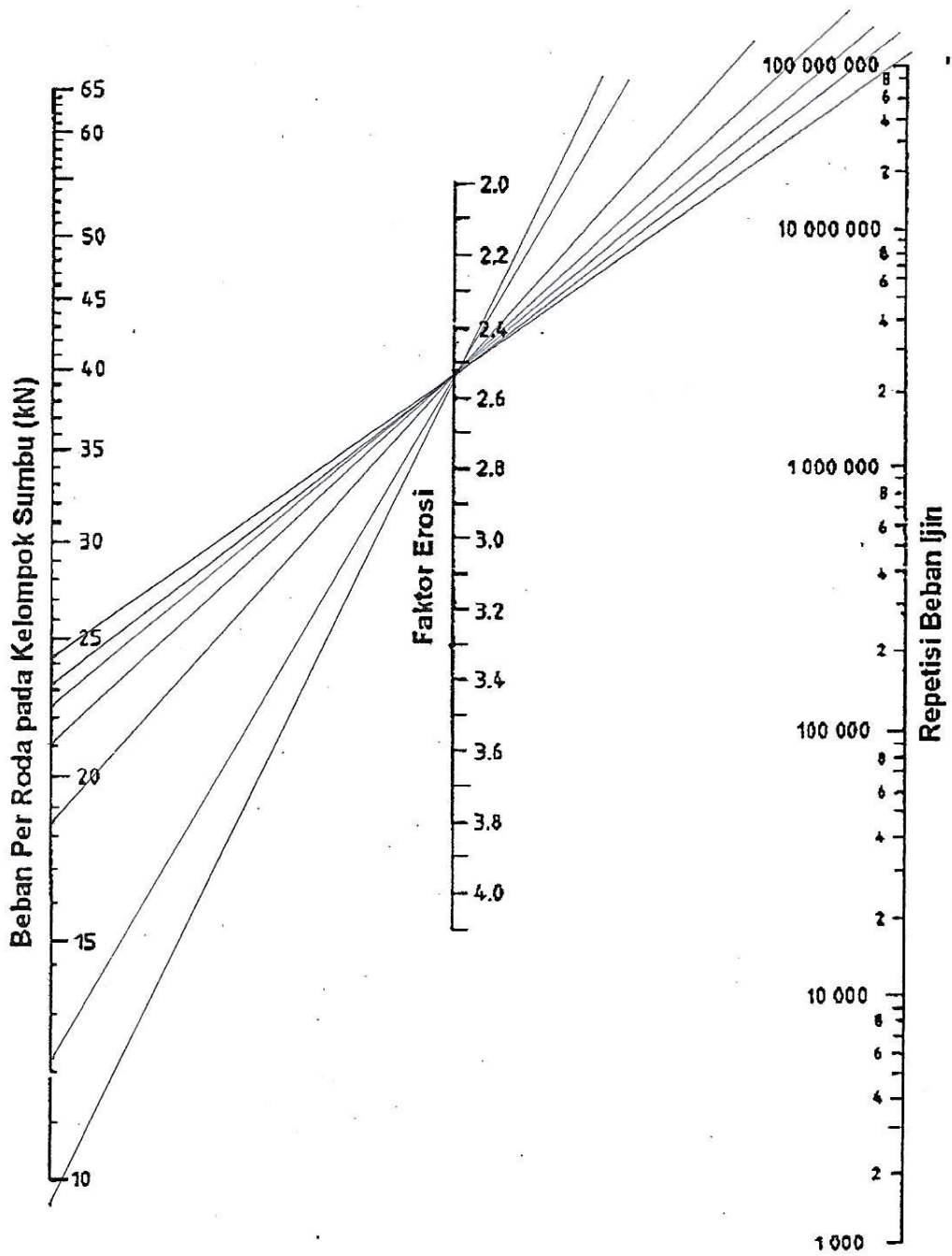


Gambar L-19.4 Analisis Fatik Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm

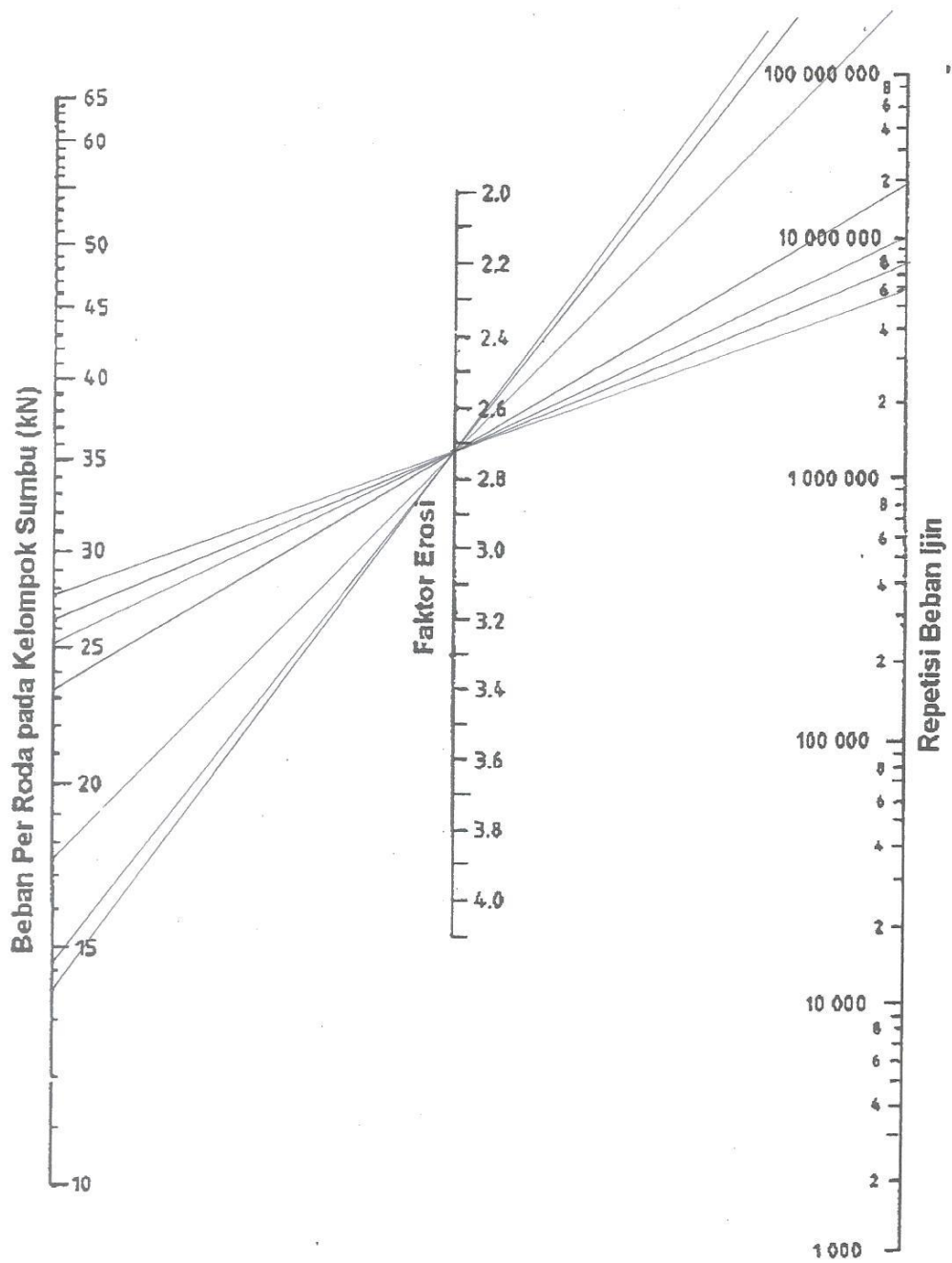
Lampiran 20 Grafik Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Tebal Taksiran 290 mm



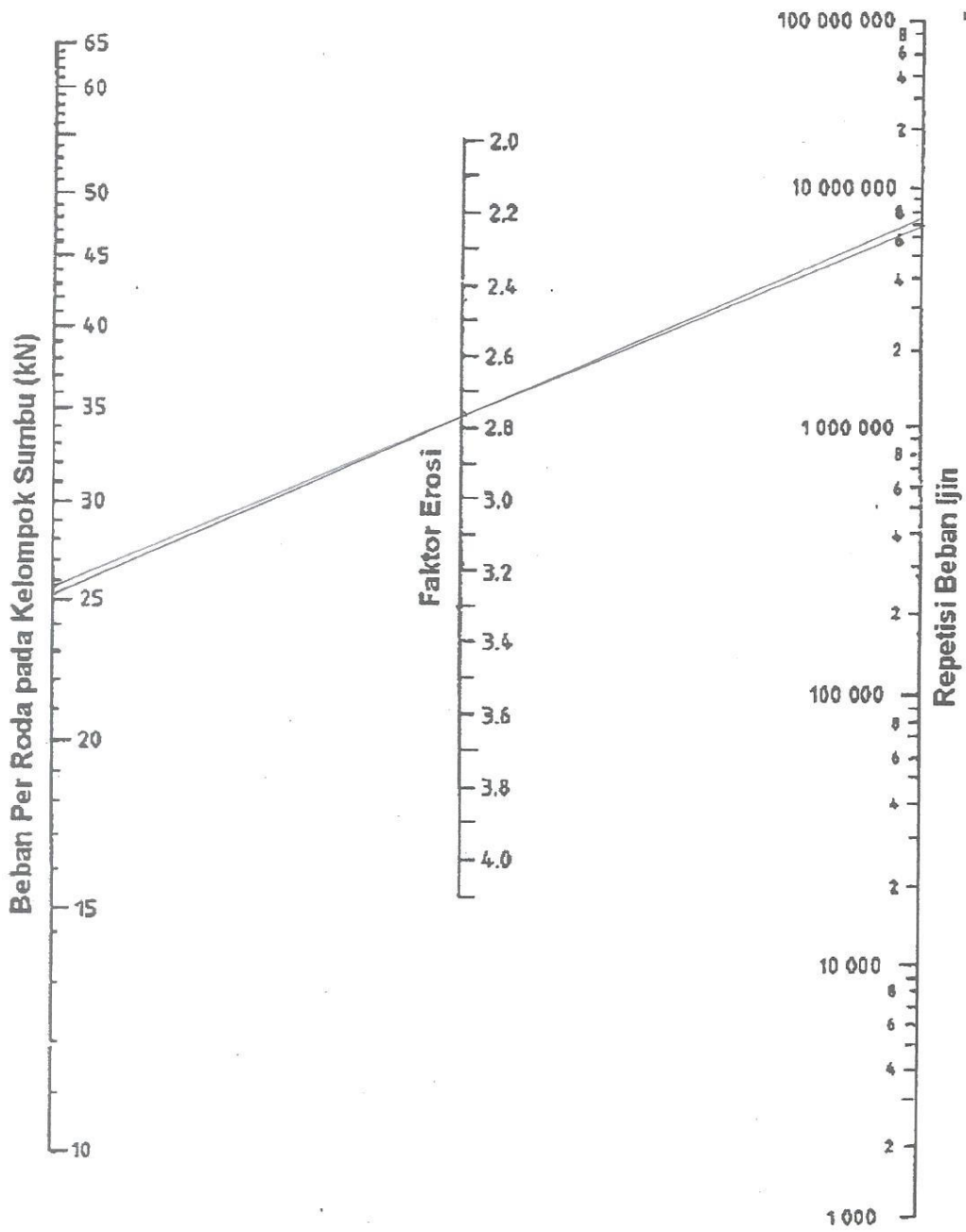
Gambar L-20.1 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Tunggal Tebal Taksiran 290 mm



Gambar L-20.2 Analisis Erosi Sumbu Tunggal Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm



Gambar L-20.3 Analisis Erosi Sumbu Tandem Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm



Gambar L-20.4 Analisis Erosi Sumbu *Tridem* Roda Ganda Tebal Taksiran 290 mm