

EVALUASI TEBAL PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODE PCA, BINA MARGA 2002, AASHTO 1993, DAN MDP 2017 RUAS JALAN BATAS KOTA PADANG-SIMPANG HARU

Kardinata¹, Darmadi²

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Jayabaya,
Jakarta, Indonesia

Email : kardichaniago76@gmail.com

ABSTRACT

Road construction with rigid pavement needs to choose the right design method in its planning. This final project aims to evaluate and compare the results of pavement thickness design using the parameters of the previous method planning with four other pavement thickness planning methods later. This method begins with secondary data collection in the form of traffic data, land data and connection data, as well as reinforcement. For CBR data, the value is 6%, effective CBR is 43%, and the traffic growth rate is 6%. According to the calculation results of the previous method in planning the thickness of continuous rigid pavement with reinforcement using the Bina Marga method based on Pd T-14-2003 is 22 cm thick, foundation layer (LC) 10 cm, wire mesh reinforcement 0 8 mm - 150 mm, Dowel 0 33 mm, and Tie bar 0 16 mm. The results of calculations using the PCA method are 20 cm thick, 10 cm of foundation layer (LC), wire mesh reinforcement 0 9 mm-200 mm, Dowel 0 25,4 mm, and Tie bar 0 13 mm. For the Bina Marga 2002 method, the thickness is 23 cm, Foundation layer (LC) is 10 cm, Wire mesh reinforcement is 0 8 mm-200 mm, Dowel 0 36 mm, and Tie bar 0 16 mm. Then the 1993 AASHTO method obtained 25.5 cm thick, 10 cm of foundation layer (LC), 0 10 mm-200 mm wire mesh reinforcement, 0 32 mm Dowel, and 0 16 mm Tie bar. And the 2017 MDP method pavement thickness is 24.5 cm, Foundation layer (LC) is 8.5 cm, Class B drainage layer is 12.5 cm thick, Wire mesh reinforcement is 0 8 mm - 200 mm, Dowel 0 36 mm, and Tie bar 0 16 mm. The difference between the five methods ranges from 1 to 5.5 cm and is due to differences in input methods on the planning parameter data.

Keywords: *Rigid pavement thickness, Reinforcement, PCA, Bina Marga 2002, AASHTO 1993, MDP 2017.*

PENDAHULUAN

Pembangunan Jalan di Indonesia saat ini berkembang sangat pesat disebabkan pertumbuhan moda transportasi yang cukup tinggi membuat kebutuhan kapasitas jalan yang memadai juga cukup tinggi pula. Jalan salah satu prasarana transportasi angkutan darat yang menghubungkan antara suatu daerah dengan daerah lainnya serta berperan penting dalam menunjang perekonomian, pariwisata, sosial budaya, dan ketahanan nasional.

Jalan Nasional merupakan salah satu klasifikasi menurut wewenang pembinaan jalan. Jalan Nasional Adalah jalan arteri primer, jalan kolektor primer, yang menghubungkan antara ibukota propinsi. Penetapan status jalan nasional dilakukan oleh keputusan Menteri. Ruas jalan Batas Kota Padang - Simpang Haru salah satu jalan nasional atau jalan arteri primer yang berada di Provinsi Sumatera Barat yang menghubungkan antara Kota Padang dengan Kota Solok. Jalan ini mempunyai aktivitas lalu lintas yang cukup tinggi terutama aktivitas kendaraan dari kota Solok menuju ke kota Padang pusat kegiatan bisnis diantaranya kegiatan industri dan kegiatan ekspor-impor melalui pelabuhan laut Teluk Bayur dan bandara Internasional Minang Kabau.

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah mengevaluasi tebal perkerasan kaku dengan metode PCA, Bina Marga 2002, AASHTO 1993, dan MDP 2017, lalu membandingkan hasil desain keempat metode tersebut dengan hasil perhitungan metode terdahulu yang menggunakan metode Bina Marga berpedoman pada Pd T-14-2003.

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya, diperuntukan bagi lalu-lintas, berada pada permukaan tanah, diatas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah

dan/atau air, serta diatas permukaan air, kecuali kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.(Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 03/PRT/M/2012).

Jalan Nasional sebagaimana dimaksud dalam pasal 26 Peraturan Pemerintah RI No.34/2006 terdiri atas : Jalan arteri primer, Jalan kolektor primer, Jalan Tol, dan Jalan strategis nasional.

Klasifikasi jalan

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan sangat terkait dengan kemampuan jalan dalam menerima beban lalu lintas diatasnya yang dinyatakan dengan Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton, dan kemampuan jalan melayani lalu lintas kendaraan dengan dimensi tertentu.

Tabel 1. Klasifikasi Jalan Menurut Kelas, Fungsi, Dimensi Kendaraan dan Muatan Sumbu Terberat (MST)

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

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).

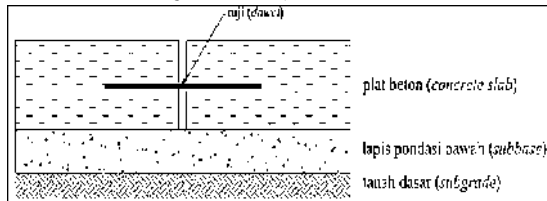
Jenis perkerasan

Jenis perkerasan berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dan dapat dibedakan atas :

- 1) Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement)
- 2) Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement)
- 3) Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement)

Perkerasan kaku

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



Gambar 1. Susunan lapis perkerasan kaku
(Sumber : Silvia Sukirman dalam Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1999)

Jenis-Jenis Perkerasan Kaku

Jenis-Jenis Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) menurut Modul 1 - Konsep Dasar Konstruksi Perkerasan Kaku, Diklat Kementerian PUPR 2017 beton semen dibedakan menjadi 5 macam yaitu :

- 1) Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (*Joint Plain Concrete Pavement - JPCP*).
- 2) Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement - JRCP*).
- 3) Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (*Continuous Reinforced Concrete Pavement - CRCP*).
- 4) Perkerasan beton semen pra-tegang (*Prestres Concrete Pavement PCP*).
- 5) Perkerasan Kaku Pracetak (*dengan dan tanpa prategang*).

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan (JRCP)

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan (JRCP) serupa dengan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JPCP) kecuali ukuran pelat lebih panjang dan ada tambahan tulangan pada pelatnya. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m dan 12 m, meskipun ada juga yang jarak sambungannya sebesar 30 m. Pada pelat dan jarak sambungan yang lebih panjang, ruji sangat disarankan

karena bukaan sambungan akan menjadi lebih lebar dan agregat interlocking akan menjadi tidak efektif sebagai penyalur beban pada sambungan. Prosentase tulangan yang digunakan dalam arah memanjang umumnya antara 0,1% dan 0,2 % dari luas penampang melintang beton, sedangkan penulangan dalam arah melintang lebih kecil.

Tanah dasar

Tanah dasar akan menjadi pondasi dari suatu perkerasan struktur lentur dan kaku. Tanah dasar dapat berupa batuan keras, batuan lunak atau tanah. Kondisi lapangan yang ditemui untuk persiapan tanah dasar, yaitu :

- a. Kondisi tanah asli.
- b. Tanah yang berasal dari hasil timbunan.
- c. Tanah yang berasal dari galian.

Beton

Kekuatan beton mesti diperhatikan dalam mendesain perkerasan kaku antara lain seperti ; kekuatan tekan, kekuatan lentur, modulus elastisitas, dan kekuatan tarik beton. 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.

Penulangan

Tujuan dasar distribusi penulangan baja adalah bukan untuk mencegah terjadinya retak pada pelat beton tetapi untuk membatasi lebar retakan yang timbul pada daerah dimana beban terkonsentrasi agar tidak terjadi pembelahan pelat beton pada daerah retak tersebut, sehingga kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan. (Modul RDE 11 : Perencanaan Perkerasan Jalan DPU 2005).

Konfigurasi Sumbu Dan Roda

Penelitian dan Pengembangan Jalan. Dan Standard Operation Procedure Perencanaan Perkerasan Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta. Ditinjau dari konfigurasi jenis sumbu kendaraan meliputi,

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

Mengacu pada buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen No. SNI 1732-1989-F dan Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83. Bina Marga MST 10, dimaksudkan damage factor didasarkan pada muatan sumbu terberat sebesar 10 ton.

Angka ekivalen beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu

tunggal / ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb). Angka Ekivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut persamaan 1 dan 2 dibawah ini :

$$\text{Sumbu tunggal} = \left[\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right]^4 \quad (1)$$

$$\text{Sumbu ganda} = 0,086 \left[\frac{\text{Beban satu sumbu ganda dalam Kg}}{8160} \right]^4 \quad (2)$$

Vehicle Damage Factor (VDF) jika dihitung berdasarkan formula diatas dengan konfigurasi sumbu pada Tabel sebelumnya serta untuk muatan sumbu terberat 10 ton hasilnya diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Angka Ekivalen Beban Sumbu Kendaraan (Vehicle Damage Factor) Bina Marga No. 01/Mn/Bm/83 : Mst-10

No	Type kendaraan & konfigurasi sumbu			Berat total (ton)	Konfigurasi beban sumbu roda (ton)						Vehicle Damage Factor
					Depan STRT	Belakang					
						ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5	
1	Sedan, jeep, st. wagon	2	1.1	2.00	1.00	1.00 STRT					0.0005
2	Pick-up, combi	3	1.2	8.30	2.82	5.48 STRG					0.2174
3	Truck 2 as (L), micro truck, mobil hantaran	4	1.2L	8.30	2.82	5.48 STRG					0.2174
4	Bus kecil	5a	1.2	8.30	2.82	5.48 STRG					0.2174
5	Bus besar	5b	1.2	9.00	3.06	5.94 STRG					0.3006
6	Truck 2 as (H)	6	1.2H	15.15	5.15	10.00 STRG					2.4159
7	Truck 3 as	7a	1.2.2	25.00	6.20	9.38 SGRG	9.38 SGRG				2.7416
8	Trailer 4 as, truck gandengan	7b	1.2 +2.2	31.40	5.65	8.79 STRG	8.48 STRG	8.48 STRG			3.9083
9	Truck S. Trailer	7c	1.2.2 +2.2	40.13	5.88	10.00 SGRG	10.00 SGRG	7.00 SGRG	7.25 SGRG		4.1718

Konfigurasi beban sumbu pada berbagai jenis kendaraan beserta angka ekivalen kendaraan dalam keadaan kosong (min) dan dalam keadaan bermuatan (max), dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konfigurasi Beban Sumbu

KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BERAT MUATAN MAKSIMUM (ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (ton)	UE 18 KSAI KOSONG	UE 18 KSAI MAKSIMUM	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	 50% 50%
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	 34% 66%
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	 34% 66%
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	 34% 66%
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	 25% 75%
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	 18% 28% 27%
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	 18% 41% 41%
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	 18% 28% 27%

(Sumber : Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83

Metode Portland Cement Association (PCA)

Berbagai cara dan metode analisis yang digunakan pada perencanaan perkerasan kaku, antara lain metode PCA (*Portland Cement Association*). Metode ini banyak dipakai sebagai acuan oleh beberapa negara lain di luar Amerika. Metode PCA memiliki beberapa kelebihan antara lain adalah tidak memerlukan assessment yang berkaitan dengan iklim seperti kondisi beku yang tidak ditemui di Indonesia, serta tidak memerlukan parameter serviceability sehingga relatif lebih mudah.

a Umur rencana (n)

Perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas serta nilai ekonomi jalan yang

bersangkutan. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (n) 20 tahun sampai 40 tahun.

b Volume 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. Volume lalu-lintas rencana diperhitungkan dari data lalu-lintas yang ada dan mencakup selama masa layan atau umur rencana seperti dalam Persamaan 3-8 berikut.

$$VLLR = LHR \times 365 \times (1 + i)^n \quad (3)$$

$$JSKNH = \square LHRn \times Sn \quad (4)$$

(untuk $i \neq 0$)

$$R = JSKNH \times 365 \times \frac{1}{R} \quad (6)$$

$$PKSn = \frac{JSKNH}{R} \quad (7)$$

$$JRn = JSKN \times PKSn \times DL \quad (8)$$

VLLR = Volume Lalu Lintas Rencana

i = Faktor pertumbuhan lalu-lintas (%)

n = Umur rencana

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas yang tergantung pada i dan n.

JSKNH =Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

LHRn =Lalu-lintas harian rata-rata kendaraan jenis n

Sn = Jumlah sumbu kendaraan jenis n

JSKN = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

PKSn =Persentase konfigurasi sumbu kendaraan

JRn =Jumlah repetisi selama umur rencana

c. Faktor keamanan

Untuk jalan tol = 1,2

Untuk jalan arteri = 1,1

Untuk jalan kolektor = 1,0

d. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Penentuan modulus reaksi tanah dasar (k) dengan persamaan 9 dan 10 berikut.

$$M_R = 1.500 \times CBR \quad (9)$$

$$k = \quad (10)$$

MR = Resilient modulus

e. Tegangan yang terjadi (Te)

Pada pelat beton mengacu pada Nomogram, dengan parameter sbb :

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

f. Kuat Lentur Tarik Beton (Mr)

Secara teoritis kuat lentur beton dapat dihitung dari kuat tekan beton f_{ck}^* , yaitu pada persamaan 11. berikut.

$$M_r = \quad + 9 \quad (11)$$

Mr = Modulus retak atau kuat lentur (kg/cm²)

f_{ck}^* = Kuat tekan beton pada umur 28 hari (kg/cm²)

Nilai minimum Mr sebaiknya digunakan 40 kg/cm². Untuk kondisi tertentu dapat digunakan sampai 30 kg/cm². Dan biasanya kuat lentur tarik beton : Mr = 45 kg/cm².

g. Perbandingan tegangan (Pteg)

Dengan persamaan 12 dibawah ini.

$$P_{teg} = \frac{T}{\quad} \quad (12)$$

Jumlah pengulangan beban yang diijinkan (JPBi) untuk perbandingan tegangan Pteg ~ 0,51 : mengacu pada Tabel 4.

Perbandingan tegangan Pteg < 0,51 : jumlah pengulangan beban yang diijinkan adalah tak terhingga (∞).

Jumlah kumulatif persentase fatigue harus ~ 100 %.

h. Persentase fatigue (Pf)

$$P_f = \quad (13)$$

Tabel 4. Perbandingan tegangan dan jumlah

pengulangan beban yang diijinkan

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

Metode Bina Marga 2002

a. Umur Rencana (UR)

Menurut 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.

b. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Menurut Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah 2002 bahwa Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir.

c Konfigurasi Sumbu

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)

d Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas (R) yang dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 14. berikut.

$$R = \frac{(1) \sim}{=1} \quad (14)$$

e Koefisien Distribusi (C)

Faktor Lajur Rencana Dan Koefisien Distribusi (C) ditentukan berdasarkan Tabel 5.

Tabel 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	0,75	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

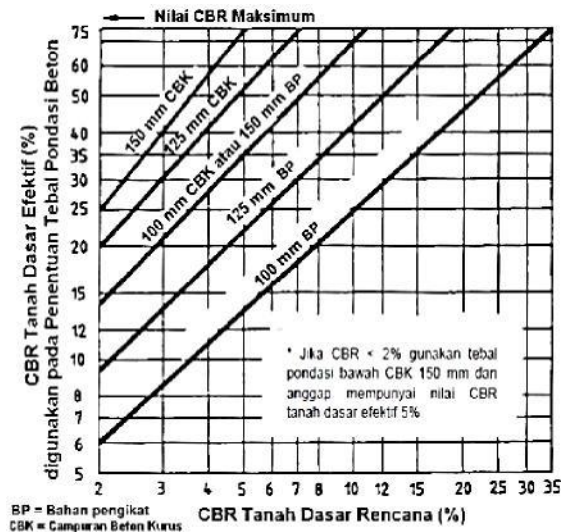
Sumber: Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah (2002)

f Jumlah Kumulatif Sumbu Kendaraan Niaga

Jumlah Kumulatif Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) pada lajur selama umur rencana dihitung dengan Persamaan 15.

$$JSKN \text{ rencana} = JSKNH \times 365 \times R \times C \quad (15)$$

Penentuan nilai CBR tanah dasar efektif dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

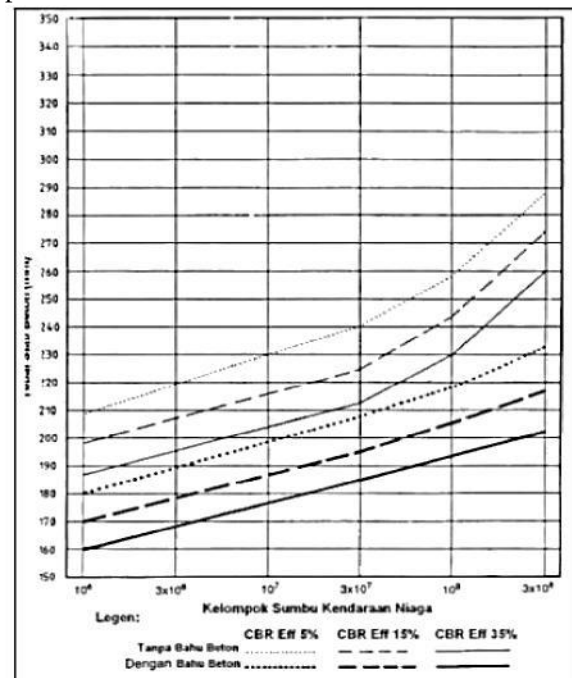


Gambar 2. CBR Tanah Dasar Efektif

(Sumber: Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2002)

g Penentuan Tebal Taksiran

Tebal Pelat Beton Minimum akan berpengaruh pada kisaran tebal desain. Penentuan tebal taksiran seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

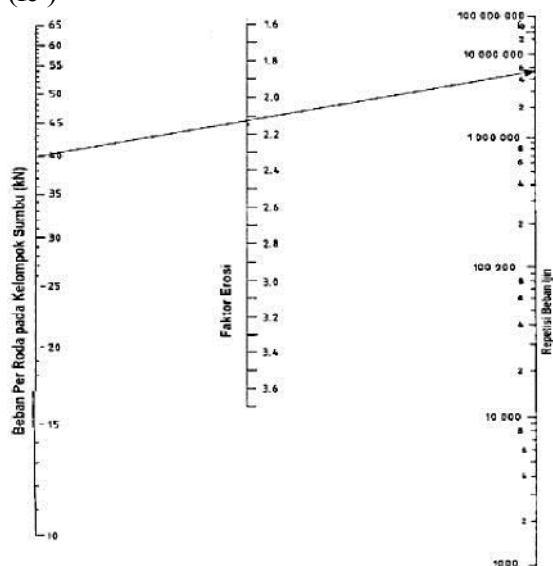


Gambar 3. Grafik perencanaan, $f_{cf} = 4,25 \text{ Mpa}$, Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, $FKB = 1,1$

(Sumber: Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2002)

$$f_{cf} = 3,13 K$$

$$(f_{c'})$$



Gambar 6. Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin Berdasarkan Faktor Erosi, dengan Bahu Beton

(Sumber: Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2002)

Penentuan Nilai Persen

Rusak Analisis Fatik

$$\text{Persentase rusak (\%)} = \frac{p \cdot t \cdot y}{p \cdot t} \times 100 \%$$

Penentuan Nilai Persen Rusak Analisis Erosi

Persentase rusak (%) =

$$\frac{p \cdot t \cdot y}{p \cdot t} \times 100\%$$

Penentuan Tebal Pondasi. Material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI03-6388-2000. 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/)

dengan tebal minimum 10 cm (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah 2002).

Metode AASHTO 1993

Metode AASHTO 1993 merupakan salah satu metode yang prinsip perancangannya berdasarkan serviceability atau kemampuan perkerasan melayani beban selama umur rencana.

a Umur Rencana

Penentuan periode analisis sangat dipengaruhi oleh kondisi jalan perencanaan. Penentuan umur rancangan sebagaimana yang ada pada Tabel 6.

Tabel 6. 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)

b. Faktor Distribusi Arah

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

c. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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 pada Tabel 7. berikut.

Tabel 7. Faktor Distribusi Lajur (DL)

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

Sumber : AASHTO 1993 halaman II-9.

d Vehicle Damage Factor (VDF)

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.

e Equivalent Single Axle 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 17.

$$W_{18} = \sum \left(\frac{1}{N_1 - N_n} \right) \times VDF_j \times D_A \times D_L \times 365 \quad (17)$$

dengan:

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

LHRj = Jumlah lalu lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j;

VDFj = Vehicle Damage Factor untuk jenis kendaraan j;

N_1 = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka;

N_n = Lalu lintas pada akhir tahun 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 18.

$$W_t = W_{18} \times \left(\frac{1 + g}{1 + n} \right)^n \quad (18)$$

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 (%)

f Reliability (R)

Reliability adalah probabilitas perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layannya.

Reliability (R) mengacu pada Tabel 8. (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-9),

Tabel 8. Reliability (R) disarankan

Klasifikasi	Nilai Reliability (%)	
Jalan	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: diambil dari AASHTO 1993 halaman II-9

Standard Normal Deviate (Z_R) mengacu pada Tabel 9. (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62).

Tabel 9. Standard normal deviation (Z_R)

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

Sumber: diambil dari AASHTO 1993 halaman I-6

g Deviasi Standar Keseluruhan (So)

AASHTO (1993) menyarankan nilai deviasi standar keseluruhan (So) untuk perkerasan kaku di antara 0,30 - 0,40 (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62). Nilai deviasi standar keseluruhan (So) yang umum digunakan yaitu 0,35.

h Kemampuan Pelayanan (Serviceability)

Tingkat penurunan pelayanan atau kerusakan perkerasan dinyatakan oleh kehilangan PSI pada suatu skala 0 sampai 5. Penilaian skala PSI dapat ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Skala PSI

Skala PSI	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 ketidakerataan jalan yang masih memungkinkan untuk dilalui kendaraan sebelum dilakukan rehabilitasi. AASHTO (1993) menyarankan nilai-nilai kemampuan pelayanan akhir (P_t) adalah pada tabel 11. berikut.

Tabel 11. Terminal serviceability index (pt)

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

Sumber: diambil AASHTO 1993 halaman II-10

Penetapan parameter serviceability :

- Initial serviceability : $p_o = 4,5$
- Terminal serviceability index Jalur utama(major highways) $p_t = 2,5$ atau 3.
- Terminal serviceability index Jalan lalu-lintas rendah : $p_t = 2,0$
- Terminal serviceability index relatif minor : $P_t = 1,5$

Kehilangan kemampuan pelayanan total (total loss of serviceability) dapat dinyatakan dengan Persamaan 19.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (19)$$

dengan:

ΔPSI = Kehilangan kemampuan pelayanan total

P_o = Kemampuan pelayanan awal

P_t = Kemampuan pelayanan akhir

i Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

AASHTO (1993) menyarankan penentuan nilai modulus of subgrade reaction (k) dapat ditentukan dengan Persamaan 20. dan Persamaan 21.

$$M_R = 1500 \times CBR \quad (20)$$

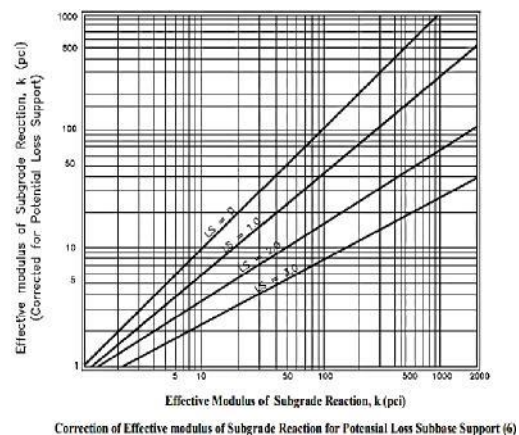
$$k = \frac{M_R}{100} \quad (21)$$

M_R = Modulus resilient

CBR = California Bearing Ratio

k = Modulus of subgrade reaction

Penentuan modulus reaksi tanah dasar efektif (Koreksi Effective Modulus of Subgrade Reaction), menggunakan Grafik (diambil dari AASHTO 1993 halaman II-42) : lihat Gambar 7.

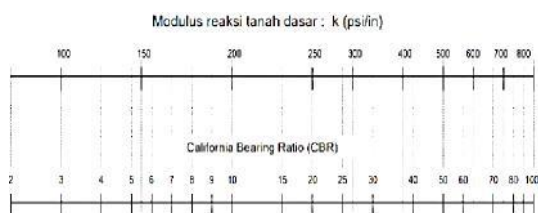


Gambar 7. Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi Bawah (Sumber: AASHTO, 1993)

Faktor kehilangan dukungan (loss of support factors, LS) mengacu pada Tabel 12.

Tabel 12. Loss of Support Factors (LS)

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



Gambar 8. Hubungan antara (k) dan (CBR)
(sumber : Portland Cement Assocoation)

j. Modulus Elastisitas Beton

$$E_c = 5 \sqrt{f'_c} \quad (22)$$

E_c = Modulus elastisitas beton (psi).

f'_c = Kuat tekan beton silinder (psi).

Kuat tekan beton f'_c ditetapkan sesuai dengan Spesifikasi pekerjaan.

k. Flexural Strength

Flexural strength (modulus of rupture) : (Sc') ditetapkan sesuai dengan Spesifikasi pekerjaan. Korelasi Flexural Strength vs Kuat Tekan :

Tabel 13. Korelasi Flexural Strength (Sc) vs Kuat Tekan

Kuat tekan, K (kg/cm ²)	Flexural Strength, Sc' (kg/cm ²)
120 – 175	25
155 – 230	30
225 – 335	40
280 – 400	45

Sumber : Jalan Beton Semen, Ir. M. Anas Aly, 2003.

Kuat lentur beton dengan agregat batu pecah menurut Pd.T-14-2003 dapat ditentukan dengan Persamaan 23.

$$Sc' = 5 \sqrt{f'_c} \quad (23)$$

dengan:

Sc' = Kuat lentur (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton 28 hari (MPa)

l. Drainage Coefficient

Hardiyatmo (2015) menyatakan perancangan dengan metode AASHTO 1993 diperlukan data kondisi kualitas drainase yang mempengaruhi kekuatan lapis perkerasan.

- Variabel Faktor Drainase
- Penetapan Variable Mutu Drainase

Tabel 14. Kualitas Drainase (Quality of drainage)

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)

- Penetapan Variable Prosen Perkerasan Terkena Air

Dan prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi dengan prsamaan 24. sebagai berikut :

$$P_{heff} = \frac{T}{T + t} \times \frac{t}{t + 1} \times W_L \times 100 \quad (24)$$

dimana :

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

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

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

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

Persentase air yang berinfiltrasi masuk ke perkerasan ditentukan dalam Persamaan 25. $W_L = 1 - C$ (25)

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 15.

Tabel 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)

• **Koefisien Drainase (Cd)**

koefisien drainase dapat pada Tabel 16.

Tabel 16. Koefisien Drainase (Cd)

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)

m. Load transfer coefficient (J)

AASHTO (1993) menyarankan untuk perkerasan kaku bersambungan tanpa dilengkapi alat transfer beban pada sambungannya maka direkomendasikan nilai transfer beban sebesar 3,8.4 dan Untuk overlay design : J = 2,22,6. pada Tabel 17.

Bahu Jalan		Aspal		Tabel 17. Koefisien Transfer Beban (J)	
Pelat Beton		Semen Portland Terikat			
Alat Transfer Beban		Ya		Tidak	
Tipe Perkerasan:					
1. Perkerasan Beton Tak Bertulang Bersambungan (JPCP) dan Bertulang Bersambungan (JRCP)		3,2	3,8 s/d 4,4	2,5 s/d 3,1	3,6 s/d 4,2
2. Perkerasan Beton		2,9 s/d 3,2	Tidak Ada	2,3 s/d 2,9	Tidak Ada

Bertulang Kontinyu (CRCP)

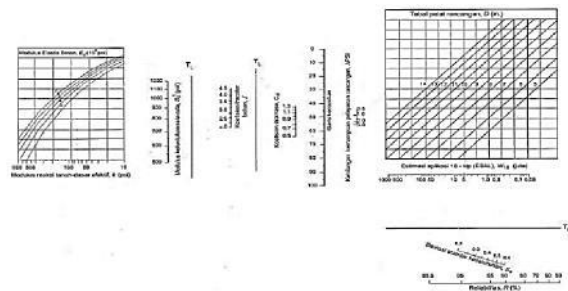
n. Penentuan Tebal Pelat Beton (D)

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 26.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log \left[\frac{APSI}{45-15} \right]}{1 + \frac{1624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_i) \times \log \left[\frac{S_c C_d \times D^{0,75} - 1132}{215,63 \times J \times \left[\frac{18,42}{(E_c \cdot k)^{0,25}} \right]} \right] \quad (26)$$

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

Penentuan tebal pelat selain menggunakan formulasi dapat juga ditentukan dengan menggunakan nomogram. Penentuan tebal perkerasan dapat di lihat menggunakan Gambar 9.



Gambar 9. Penentuan tebal pelat dengan Nomogram menurut AASHTO 1993 (Sumber: AASHTO. 1993)

Metode MDP 2017

Untuk perkerasan kaku atau perkerasan/beton manual ini dilengkapi pedoman yang diterbitkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, yaitu Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003. Berdasarkan MDP 2017 terdapat beberapa parameter dalam perancangan perkerasan kaku, yaitu umur rencana, analisis lalu lintas, CBR tanah dasar, fondasi jalan, dan mutu beton.

a Umur Rencana (UR)

Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan dan Jika dianggap sulit untuk

menggunakan umur rencana diatas, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan discounted lifecycle cost yang dapat menunjukkan bahwa umur rencana tersebut dapat memberikan discounted lifecycle cost terendah.

Tabel 18. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir(2) .	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, <u>terowongan</u> .	
	<u>Cement Treated Based (CTB)</u>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan) .	Minimum 10

Sumber ; Manual Desain Perkerasan Jalan, (2017)

b. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada discounted lifecycle cost terendah. Perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Oleh sebab itu batasan pada Tabel 18 tidaklah mutlak.

c. Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data data pertumbuhan series (historical growth data) atau formulasi

korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka Tabel 19. dapat digunakan (2015 - 2035).

Tabel 19. Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) %

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (Cumulative Growth Factor) dengan persamaan 27. sebagai berikut :

$$R = \frac{(1 + i)^n}{1} \quad (27)$$

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017
Dengan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

d. Lalu lintas pada lajur rencana

Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (D_D) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (D_L).

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (D_D) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasilokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Tabel 20. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

e. Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

Tingkat pembebanan faktual berlebih diasumsikan berlangsung sampai tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan beban kendaraan sudah terkendali dengan beban sumbu nominal terberat (MST) 12 ton. Namun demikian, untuk keperluan desain, Direktorat Jenderal Bina Marga dapat menentukan waktu penerapan efektif beban terkendali tersebut setiap waktu.

Tabel 21. Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga di pulau sumatera

Jenis Kendaraan	Sumatera			
	Beban aktual		Beban Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6
7B1	–	–	–	–
7B2	–	–	–	–
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

f. Beban standar kumulatif (CESA)

Beban standar kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur rencana selama umur rencana, yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 28.

$$ESA_{TH-1} = \left(\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK} \right) \times 365 \times D_D \times D_L \times R \quad (28)$$

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen tahun pertama

LHR_{JK} = Lalu lintas harian rata-rata setiap jenis kendaraan niaga (kendaraan/hari)

VDF_{JK} = Faktor ekuivalen beban setiap jenis kendaraan niaga

D_D = Faktor distribusi arah

D_L = Faktor distribusi lajur; dan

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

g. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan niaga

Berdasarkan pedoman desain perkerasan kaku (Pd T-14-2003), beban lalu lintas desain didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (heavy vehicle axle group, HVAG) dan bukan pada nilai ESA.

h. Tanah dasar normal

Apabila fondasi perkerasan terdiri dari beberapa lapis atau apabila tanah dasar asli terdiri dari beberapa lapis dengan kekuatan tertinggi terletak pada lapis paling atas maka CBR tanah dasar ditentukan sesuai formula 29 berikut:

$$CBR_{ekivalen} = \left(\frac{\sum C_i^{0.33}}{\sum C_1^{0.33}} \right)^3 \quad (29)$$

Dengan,

h_i = tebal lapis i

$\sum h_i$ = 1 meter.

i. Desain Perkerasan Kaku

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat (Bagan Desain 4. Manual Desain Perkerasan Jalan 2017).	4.3	8.6	25.8	43	86
Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat (overloaded). (10EG) Tabel 22. (Bagan Desain 4)	4.3	8.6	25.8	43	86
STRUKTUR PERKERASAN (mm)	YA				
Dowel dan bahu beton	YA				

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC			100		
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)			150		

Penulangan Dan Sambungan

a Penulangan bersambung dengan tulangan

menurut Pd T-14-2003, Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan 30. berikut :

M
Tabel 24. 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 : Pd T-14-2003: Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah

(30)

engan pengertian:

As : luas penampang tulangan baja (mm^2 /m lebar pelat)

fs : kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

g : gravitasi (m/detik^2).

h : tebal pelat beton (m)

L : jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)

M : berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

2 Laburan parafin tipis

Karet kompon (A

3 chlorinated rubber curing compound) 2,0

Sumber : Pd T-14-2003: Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah

μ : koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah sebagaimana pada Tabel 23.

Tabel 23. Nilai koefisien gesekan (μ)

No.	Lapis pemecah ikatan	Koefisien gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0

c Sambungan memanjang (Tie Bar)

Tie bar tidak dirancang untuk memindah beban. Jarak tie bar dapat mengacu pada Tabel 25.

Tabel 25. 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 maksimum (in)			Panjang (in)	Jarak maksimum (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	30.000	6	25	48	48	48	30	48	48	48
		7	25	48	48	48	30	48	48	48
		8	25	48	44	40	30	48	48	48
		9	25	48	40	38	30	48	48	48
		10	25	48	38	32	30	48	48	48
		11	25	35	32	29	30	48	48	48
		12	25	32	29	26	30	48	48	48

Sumber : Literatur UI.

b Sambungan susut (dowel)

Jarak sambungan susut melintang menurut Pd T-14-2003, untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

METODE PENELITIAN

Tahapan Pengumpulan Data

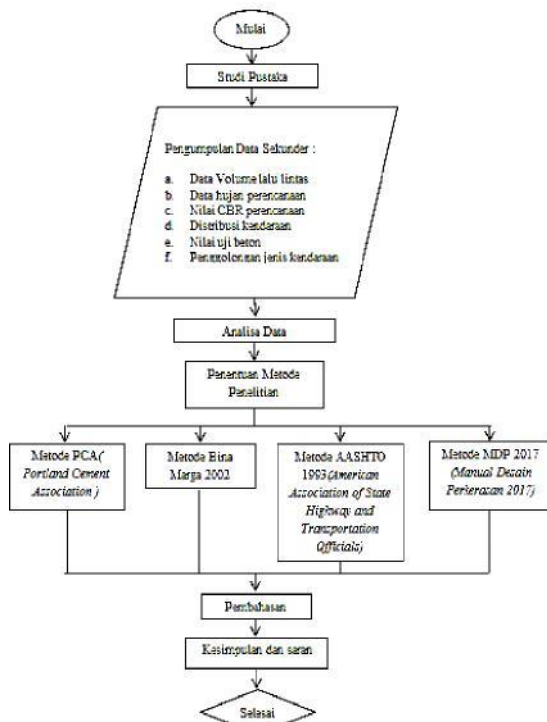
Tahapan pengumpulan data pada sebuah penelitian merupakan tahapan yang paling pokok untuk menyelesaikan kasus pada suatu objek penelitian. Dalam tahap pengumpulan data pada kasus tebal perkerasan kaku ini, Data yang dikumpulkan hanya data sekunder karena data hanya diperoleh dari penelitian terdahulu yaitu “Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan “Batas Kota Padang – Simpang Haru” yang telah tersaji. Data ini akan diolah dan evaluasi lalu akan digunakan sebagai data perencanaan tebal perkerasan kaku pada penelitian ini nantinya.

Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini akan mengevaluasi metode yang digunakan dalam kasus terdahulu yaitu dengan metode Bina Marga berpedoman pada Pd T-14-2003 lalu akan dibandingkan hasilnya dengan metode PCA, metode Bina Marga 2002, metode AASHTO 1993 dan metode MDP 2017.

Kerangka Penelitian

Kerangka proses penelitian dapat dilihat pada bagan alir sebagai berikut.



Gambar 10. Bagan Alir Penelitian

ANALISA DATA DAN HASIL ANALISIS

Data Parameter Perencanaan

Penelitian ini mengevaluasi dan membandingkan beberapa metode perencanaan tebal perkerasan menggunakan beberapa data dari hasil data terdahulu. Adapun data digunakan sebagai parameter desain yang dimaksud sebagai berikut dibawah ini.

- Status/ fungsi jalan = Jalan Nasional/ Arteri Primer.
- Lalu-Lintas 2 lajur 2 arah.
- Umur rencana = 20 tahun. CBR tanah dasar = 6.0 %

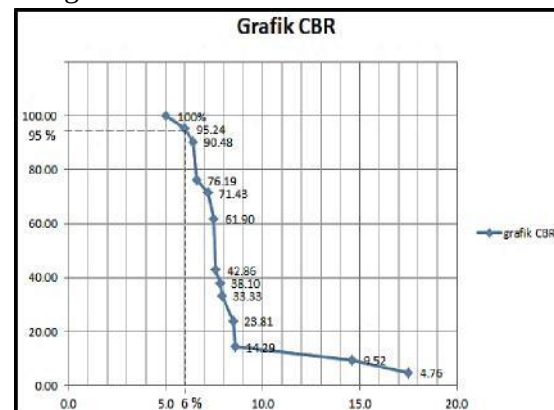
- Pertumbuhan lalu lintas = 6 % pertahun.
- Jalan pondasi bawah = stabilisasi semen
- Mutu beton (f_c) = 350 kg/cm² (K-350)
- Bahu jalan = Tanpa Bahu Jalan
- Ruji (Dowel) = ya

Dan data perkerasan beton bersambung dengan tulangan ini adalah sebagai berikut.

- Tebal pelat (h) = 22 cm (penelitian terdahulu)
- Lebar Pelat = 8 meter
- Panjang sekmen pelat = 5,5 meter
- Koefisien gesek (μ) = 1,8 stabilitas semen
- Mutu baja U-39 = 3900 kg/m² (f_y = 390 MPa)
- Kuat tarik ijin baja (f_s) = $0.6 \times f_y = 234$ Mpa
- Berat isi beton = 2400 kg/m³ (f_y = 240 MPa)
- Gravitasi (g) = 9,81 m/dt²

Data CBR Tanah dasar

Pada perencanaan ini, data CBR didapatkan dari konsultan pengawas menurut laporan hasil penelitian terdahulu. Nilai CBR tersebut dapat dilihat pada gambar 11. sebagai berikut.



Gambar 11. CBR Design

Sumber: Sudarmono PS, Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Data Lalu Lintas

Hasil dari analisis volume lalu-lintas merupakan data lalu-lintas harian yang diambil dari perencanaan penelitian terdahulu, dapat dilihat pada uraian tabel 26. sebagai berikut :

Tabel 26. Data Lalu-lintas Harian dari hasil penelitian terdahulu

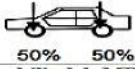
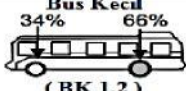
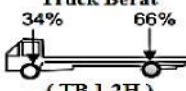
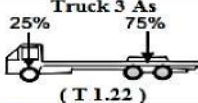
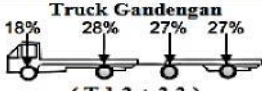
Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan / hari
Mobil penumpang (1 + 1) ton	7040
Bus (3 + 5) ton	1380
Truk 2 as kecil (2 + 4) ton	180
Truk 2 as besar (5 + 8) ton	900
Truk 3 as (6 + 14) ton	670
Truk Gandeng (6+14+5+5) ton	10

Sumber : Sudarmono PS, Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Analisa Beban As Pada Masing-Masing Kendaraan

Data lalu-lintas dari hasil penelitian terdahulu dianalisa dan akan dibandingkan dengan perhitungan Bina Marga No. 01/Mn/Bm/83:Mst-10 menurut jenis kendaraan, golongan, dan konfigurasi beban sumbu roda (ton) pada tabel 27. dibawah ini.

Tabel 27. Data Beban As Masing-Masing Kendaraan

Mobil Penumpang	
Sedan, Jeep, St. Wagon (Gol 2)	 (Diwakili oleh MP 1.1)
Beban total kendaraan (ton)	2.00
Distribusi beban As	0.50 0.50
Beban As (ton)	1.00 1.00
Truck Ringan	
Truck 2 as (L) (Gol 4)	 (TR 1.2L)
Beban total kendaraan (ton)	8.30
Distribusi beban As	0.34 0.66
Beban As (ton)	2.82 5.48
Bus Kecil	
Bus Kecil (Gol 5a)	 (BK 1.2)
Beban total kendaraan (ton)	8.30
Distribusi beban As	0.34 0.66
Beban As (ton)	2.82 5.48
Truck Berat	
Truck 2 as (H) (Gol 6)	 (TB 1.2H)
Beban total kendaraan (ton)	15.15
Distribusi beban As	0.34 0.66
Beban As (ton)	5.15 10.00
Truck 3 As	
Truck 3 as (Gol. 7a)	 (T 1.22)
Beban total kendaraan (ton)	25.00
Distribusi beban As	0.25 0.375 0.375
Beban As (ton)	6.20 9.38 9.38
Truck Gandengan	
Truck gandengan (Gol. 7b)	 (T 1.2 + 2.2)
Beban total kendaraan (ton)	31.40
Distribusi beban As	0.18 0.28 0.27 0.27
Beban As (ton)	5.65 8.79 8.48 8.48

Sumber: Bina Marga No. 01/Mn/Bm/83 : Mst-10

Data Hujan

Data hujan yang akan digunakan nantinya untuk perencanaan perkerasan kaku seperti pada Tabel 28. berikut.

Tabel 28. Data Hujan

No.	Tahun Pengamatan	Jumlah Hari Hujan (hari)
1	2012	230.00
2	2013	232.00
3	2014	163.00
4	2015	185.00

Sumber: Jumlah Hari Hujan di Stasiun Pengamatan BMKG untuk wilayah Sumatera Barat, 2011-2015.

Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode PCA

Data - data perencanaan yang digunakan dalam perhitungan penentuan tebal perkerasan kaku dengan metode PCA (Portland Cement Association) adalah sebagai berikut.

- Umur rencana (n) = 20 tahun.
- Faktor distribusi arah (C) pada kendaraan niaga untuk lalu-lintas 2 lajur 2 arah diperoleh sebesar 0,5 berdasarkan Tabel 5.

- Laju pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 6% pertahun.

- Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

$$R = \left(\frac{1 + i}{1 + R} \right)^n - 1$$

$$= \left(\frac{1 + 0.06}{1 + R} \right)^{20} - 1$$

$$= 37,87$$

- Faktor distribusi lajur (DL) yang digunakan sebesar 90% (0,9) pada Tabel 7.

- Menentukan Jumlah Kendaraan Niaga (JKN) selama umur rencana (20 tahun) dapat diperhitungkan dengan persamaan sebelumnya dan dilanjutkan pada tabel 29. berikut ini ;

$$JKN = JKNH \times 365 \times R$$

$$= 1380 \times 365 \times 37,87$$

$$= 19075119$$

- g. Menentukan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH) dihitung menggunakan persamaan 4. dan dilanjutkan pada tabel 30. sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{JSKNH} &= \square \text{ LHRn} \times \text{Sn} \\ &= 1380 \times 2 \\ &= 2760 \end{aligned}$$

- h. Menentukan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama umur rencana (20 tahun) dihitung dengan persamaan 6. dan dilanjutkan dengan tabel 31. sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{JSKN Rencana} &= \text{JSKNH} \times 365 \times \text{R} \\ &= 2760 \times 365 \times 37,87 \\ &= 38150238 \\ &= 3,8 \times 10^7 \end{aligned}$$

- i. Menentukan Persentase konfigurasi sumbu (PKSn), maka dapat dihitung menggunakan persamaan 7. dan perhitungan dilanjutkan dengan tabel 32. berikut.

$$\text{PKSn} = \frac{\quad}{\text{N}} = 0,219$$

- j. Jumlah repetisi setiap jenis kendaraan pada jalur rencana selama umur rencana (JRn) yaitu selama umur 20 tahun dapat ditentukan dengan persamaan 8. dan perhitungan dilanjutkan pada tabel 33. seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{JRn} &= \text{JSKN} \times \text{PKSn} \times \text{DL} \\ &= 38150238 \times 21.90 \times 0.9 \\ &= 752104692 \end{aligned}$$

Tabel 29. Jumlah Kendaraan Niaga (JKN) Umur Rencana 20 Tahun

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				JKNH (bh)	Jumlah hari dalam setahun	R	JKN Umur Rencana
	RD	RB	RGD	RGB				
(1)	(2)				(3)	(4)	(5)	(6)=(3)*(4)*(5)
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	—	—	7040	—	—	—
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	—	—	1380	365	37.87	19075119
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	—	—	180	365	37.87	2488059
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	—	—	900	365	37.87	12440295
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	—	—	670	365	37.87	9261108.5
Truck gandeng (T1.2+2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	10	365	37.87	138225.5
Jumlah 2 lajur 2 arah					3140			43402807

Tabel 30. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH)

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				JKNH (bh)	Jumlah sumbu per kendaraan (bh)	JSKNH (bh)
	RD	RB	RGD	RGB			
(1)	(2)				(3)	(4)	(5) = (3)*(4)
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	—	—	7040	—	—
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	—	—	1380	2	2760
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	—	—	180	2	360
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	—	—	900	2	1800
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	—	—	670	2	1340
Truck gandeng (T 1.2+2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	10	4	40
Jumlah 2 lajur 2 arah					3140		6300

Tabel 31. Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) Umur Rencana 20 Tahun

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				JSKNH (bh)	Jumlah hari dalam setahun	R	JSKN Umur Rencana
	RD	RB	RGD	RGB				
1	2				3	4	5	6 = 3*4*5
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	—	—	7040	—	—	—
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	—	—	2760	365	37.87	38150238
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	—	—	360	365	37.87	4976118
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	—	—	1800	365	37.87	24880590
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	—	—	1340	365	37.87	18522217
Truck gandeng (T 1.2+2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	40	365	37.87	552902
Jumlah 2 lajur 2 arah					6300			87082065

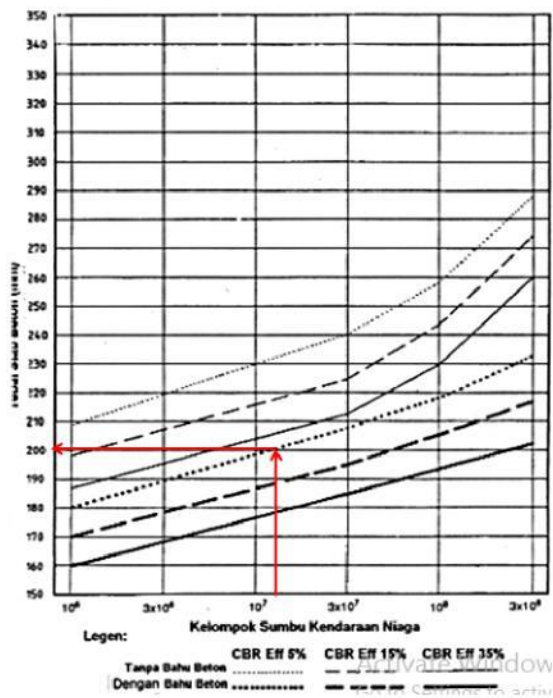
Tabel 32. Persentase Konfigurasi Sumbu Kendaraan (PKSn)

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				LHRn (bh)	JSKNH (bh)	PKSn
	RD	RB	RGD	RGB			
1	2				3	4	5 = 3 / total(4)
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	—	—	7040	—	—
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	—	—	1380	2760	0.219
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	—	—	180	360	0.029
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	—	—	900	1800	0.143
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	—	—	670	1340	0.106
Truck gandeng (T 1.2+2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	10	40	0.002
Total					3140	6300	

Tabel 33. Jumlah Repetisi (JRn) selama umur 20 tahun

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				JSKN Umur Rencana	PKSn	DL	JRn
	RD	RB	RGD	RGB				
1	2				3	4	5	6 = 3*4*5
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	—	—	—	—	—	—
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	—	—	38150238	0.219	0.9	7521046.92
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	—	—	4976118	0.029	0.9	127957.32
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	—	—	24880590	0.143	0.9	3198933
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	—	—	18522217	0.106	0.9	1772840.77
Truck gandeng (T 1.2+2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	552902	0.002	0.9	789.86
Komulatif Repetisi								12621567.9

- k. Faktor keamanan beban yang digunakan disesuaikan dengan klasifikasi jalan Arteri adalah 1,1 yang digunakan sebagai parameter perencanaan.
- m. Tebal Taksiran Pelat Beton dan hasil penentuan tebal taksiran pelat beton menggunakan ketentuan Bina Marga dapat dilihat pada gambar 12. berikut.



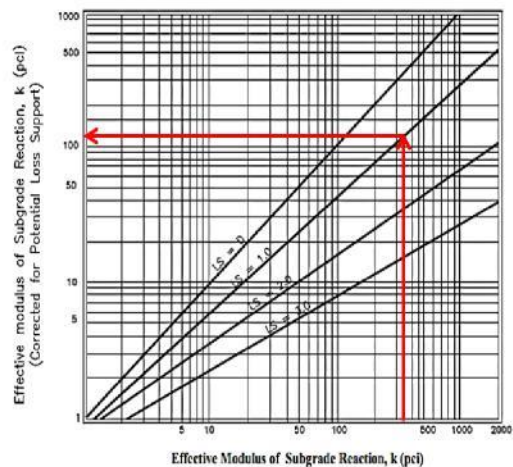
Gambar 12. Grafik perencanaan, $f_{cr} = 4,25$ Mpa, Lalu Lintas Luar Kota dengan Ruji, FKB = 1,1

- m. Menentukan Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)
- Nilai CBR yang digunakan adalah sebesar 6%, Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar efektif (k) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 9, dan persamaan 10. berikut.

$$M_R = 1500 \times \frac{C}{CBR} = \frac{1500 \times 350}{6} = 463,92 \text{ pci}$$

Nilai kuat tekan beton (f_c') dari data yang diperoleh adalah sebesar 350 Kg/cm², maka nilai elastisitas beton (E) sebesar 4021700,42 psi dan 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 463,92 pci. Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar koreksi dapat ditentukan menggunakan Gambar 13. berikut.



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

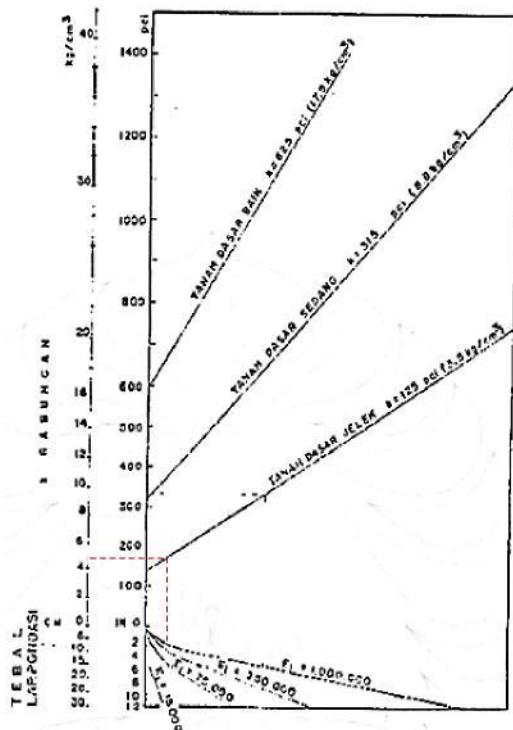
Gambar 13. Modulus Reaksi Tanah Dasar Dikoreksi Terhadap Potensi Kehilangan Dukungan Lapis Pondasi

Hasil yang didapat dari gambar diatas adalah nilai modulus reaksi tanah dasar efektif (k) dikoreksi terhadap potensi kehilangan dukungan lapis pondasi adalah sebesar 125 pci.

- n. Menentukan Tebal Pondasi Bawah

Lapis pondasi minimum yang diisyaratkan oleh AASHTO 1993 adalah sebesar 4 inchi (10 cm), Lapis pondasi bawah (subbase) sebenarnya bukanlah bagian dari struktur perkerasan jalan kaku, tetapi jika perancangan memperhitungkan lapis pondasi maka perlu dicari nilai k gabungan. tebal lapis pondasi yang digunakan adalah 10 cm dari lean concrete. Grafik untuk menentukan nilai k gabungan dapat dilihat pada Gambar 14. berikut.

Nilai k gabungan dari grafik = 4,3 kg/cm³



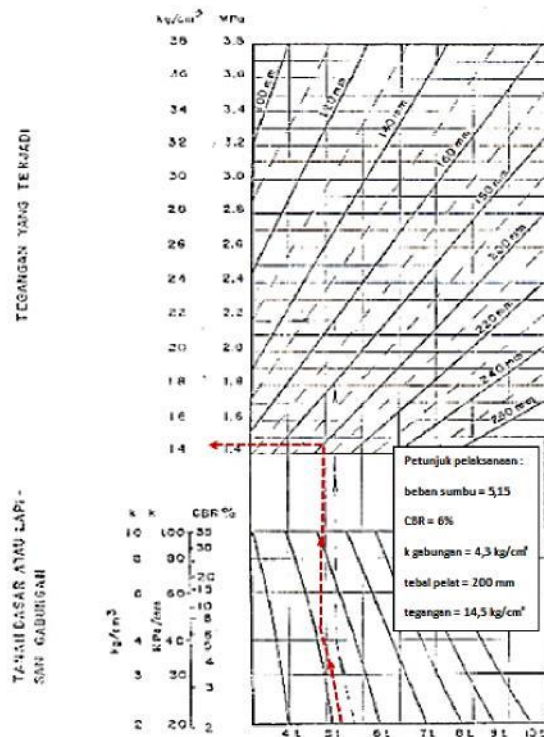
Gambar 14. Grafik untuk menentukan k gabungan

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 2003

o. Menentukan Tegangan yang terjadi (T_e)

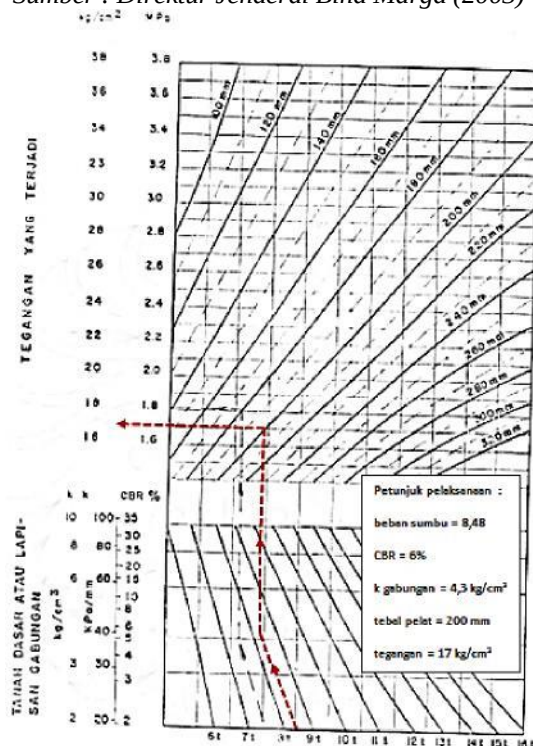
Dalam perhitungan Tegangan yang terjadi (T_e) pada pelat beton mengacu pada Nomogram ketentuan Bina Marga terdapat contoh hasil dari nomogram pada gambar berikut.

- Tegangan yang Terjadi untuk STRT = $14,5 \text{ kg/cm}^2$
- Tegangan yang Terjadi untuk STRT = $15,8 \text{ kg/cm}^2$
- Tegangan yang Terjadi untuk STRT = 17 kg/cm^2
- Tegangan yang Terjadi untuk STRG = 17 kg/cm^2
- Tegangan yang Terjadi untuk STRG = $17,5 \text{ kg/cm}^2$
- Tegangan yang Terjadi untuk STRG = $19,5 \text{ kg/cm}^2$
- Tegangan yang Terjadi untuk STRG = 20 kg/cm^2



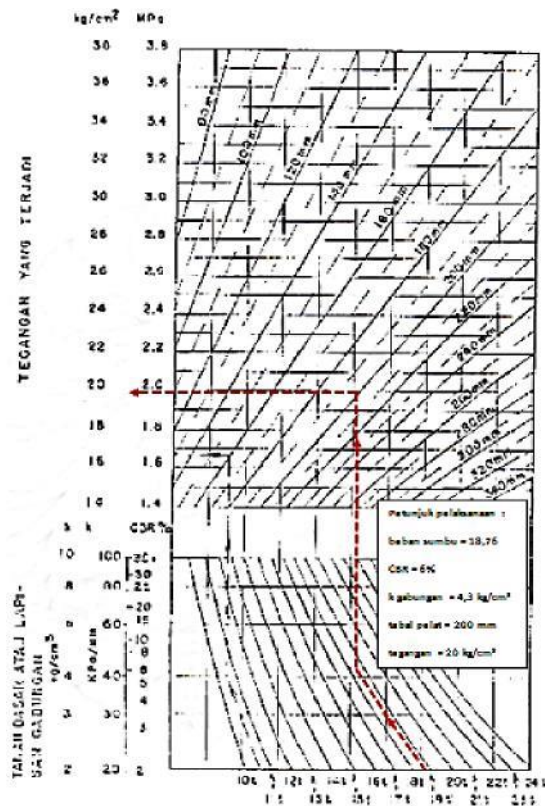
Gambar 15. Beban Sumbu Nomogram untuk Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)

Sumber : Direktur Jenderal Bina Marga (2003)



Gambar 16. Beban Sumbu Nomogram untuk Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG)

Sumber : Direktur Jenderal Bina Marga (2003)



Gambar 17. Beban Sumbu Nomogram untuk Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG)
 Sumber : Direktur Jenderal Bina Marga (2003)

Adapun parameter yang digunakan seperti jumlah beban sumbu, modulus reaksi tanah dasar (k) dan taksiran tebal pelat beton dan dapat dijelas dengan Tabel 34, Tabel 35. sebagai berikut.

p. Menentukan Kuat Lentur Tarik Beton (M_r)

Kekuatan tekan beton didapat dari pengujian Three point test (ASTM C-78) untuk beton berumur 28 hari. Perencanaan ini nilai kuat tekan beton digunakan yaitu 350 kg/cm^2 . Secara teoritis kuat lentur beton dapat dihitung dari kuat tekan beton f_{bk}^* , seperti pada persamaan 11. berikut.

$$M_r = \frac{\sigma}{\dots} + 9$$

$$\begin{aligned} M_r &= \dots + 9 \\ &= 31,82 + 9 \\ &= 40,82 \text{ kg/cm}^2 \approx 41 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 34. Data Lalu lintas sampai umur 20 tahun

Jenis Kendaraan	LHR awal		Umur 20 tahun	
	JKNH	JSKNH	JKN	JSKN
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	7040	0	0	97310752.0
Bus Kecil (1.2)	1380	2	2760	19075119.0
Truck 2 as (1.2L)	180	2	360	2488059.0
Truck 2 as (1.2H)	900	2	1800	12440295.0
Truck 3 as (T 1.22)	670	2	1340	9261108.5
Truck gandeng (T 1.2+2.2)	10	4	40	138225.5
Jumlah	3140	6300	43402807	87082065

Tabel 35. Data Konfigurasi Sumbu & Jumlah Repetisi

Konfigurasi sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Kendaraan	Konfigurasi Sumbu (%)	Jumlah Repetisi
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	2.82	1380	0.219	7521046.92
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	2.82	180	0.029	127957.32
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	5.15	900	0.143	3198933.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	5.48	1380	0.219	7521046.92
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	5.48	180	0.029	127957.32
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	5.65	10	0.002	789.86
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	6.20	670	0.106	1772840.77
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	8.48	20	0.002	1579.72
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	8.79	10	0.002	789.86
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	10.00	900	0.143	3198933.00
sumbu Tandem roda Ganda (STdRG)	18.76	670	0.106	1772840.77

Nilai minimum M_r sebaiknya digunakan 40 kg/cm^2 . Untuk kondisi tertentu dapat digunakan sampai 30 kg/cm^2 . Dan biasanya kuat lentur tarik beton : $M_r = 45 \text{ kg/cm}^2$.

- q. Menentukan Perbandingan Tegangan (P_{teg}) dengan menggunakan persamaan 12. dibawah ini dan nilai tegangan yang terjadi diambil dari nomogram pada lampiran. Salah satu contoh perhitungannya sebagai berikut.

$$P_{teg} = \frac{T}{T_{max}}$$

$$P_{teg} = \frac{0,35}{0,35} = 1,0$$

= 0,35 r. Jumlah Repetisi
Beban Yang Diijinkan &
Persentase Fatigue

Jumlah pengulangan beban yang diijinkan (JP_{Bi}) untuk perbandingan tegangan $P_{teg} \sim 0,51$: mengacu pada Tabel 4. Apabila perbandingan tegangan $P_{teg} < 0,51$: jumlah pengulangan beban yang diijinkan adalah tak terhingga (∞). Persentase fatigue (P_f) :

$$P_f = \frac{P_{teg}}{0,51} = \frac{1,0}{0,51} = 1,96$$

Jumlah kumulatif persentase fatigue harus $\sim 100 \%$ dan perhitungan dapat dilihat pada tabel 36. berikut.

Tabel 36. Repetisi Beban Ijin dan Persentase Fatigue

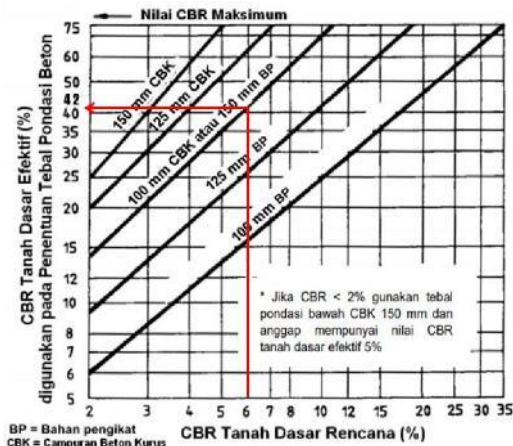
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	2.82	3.10	7521046.92	—	—	—	0.00
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	2.82	3.10	127957.32	—	—	—	0.00
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	5.15	5.67	3198933.00	14.5	0.35	—	0.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	5.48	6.03	7521046.92	—	—	—	0.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	5.48	6.03	127957.32	—	—	—	0.00
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	5.65	6.22	789.86	15.8	0.39	—	0.00
sumbu tunggal roda tunggal (STRT)	6.20	6.82	1772840.77	17	0.41	—	0.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	8.48	9.33	1579.72	17	0.41	—	0.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	8.79	9.67	789.86	17.5	0.43	—	0.00
sumbu tunggal roda Ganda (STRG)	10.00	11.0	3198933.00	19.5	0.48	—	0.00
sumbu Tandem roda Ganda (STdRG)	18.76	20.6	1772840.77	20	0.49	—	0.00
Konfigurasi sumbu	Beban Sumbu (ton)	FK 1,1	Jumlah Repetisi (JRn)	Teg. yang terjadi (Te) kg/cm^2	Perband tegangan (P_{teg})	Repetisi beban ijin	% fatigue
1	2	3	4	5	6 = 5 / M_r	7 = 4 / JP_{Bi}	8
Jumlah							0.00

Pada perbandingan tegangan seperti terlihat pada tabel, maka $P_{teg} < 0,51$: jumlah pengulangan beban yang diijinkan adalah tak terhingga (∞) dan Jumlah kumulatif persentase fatigue 0 ~ 100 %, Jadi tebal perkerasan kaku sebesar 200 mm dapat digunakan.

Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga 2002

Data perencanaan yang digunakan dalam Perhitungan penentuan tebal perkerasan kaku dengan metode Bina Marga 2002 adalah sebagai berikut.

- Umur rencana (UR) = 20 tahun
- Nilai CBR tanah dasar sebesar 6% sesuai spesifikasi umum. Menentukan nilai CBR tanah dasar efektif dapat menggunakan Gambar 18.



Gambar 18. Penentuan CBR Tanah Dasar Efektif
Dilihat dari Gambar 18. maka CBR tanah dasar efektif yang diperoleh sebesar 42%.

- Menentukan Lapis Pondasi
Pondasi bahan campuran beton kurus (CBK) yang mempunyai kuat tekan minimum 28 hari 50 Kg/cm² dengan tebal pondasi sebesar 10 cm.
- Kuat lentur beton (fcf)
Nilai kuat tekan beton (fc') sebesar 350 kg/cm². Menentukan nilai kuat lentur beton dengan persamaan 16. berikut.

$$f_{cf} = 3,13 K (fc')^{0,50}$$

$$= 3,13 \times 0,75(350)^{0,50}$$

$$= 43,92 \text{ kg/cm}^2 / 10,2$$

$$= 4,31 \text{ MPa}$$
- Laju pertumbuhan lalu lintas sebesar 6% pertahun.
- Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$R = \left(\frac{t}{t_0} \right)^n$$

$$\left(\frac{20}{1} \right)^{0,06} = 36,79$$

- Analisa Lalu Lintas untuk konfigurasi beban sumbu berdasarkan Tabel 37, Sedangkan jumlah sumbu dapat dihitung dengan ketentuan tabel 38. berikut.
- Faktor distribusi arah (C) sebesar 0,5 berdasarkan Tabel 5.
- Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH) total sebanyak 6300 kendaraan.
- Menghitung Lalu Lintas Rencana (JSKN) selama umur rencana dengan persamaan 15. berikut.

$$\begin{aligned} JSKN_{renc} &= JSKNH \times 365 \times R \times C \\ &= 6300 \times 365 \times 36,79 \times 0,5 \\ &= 42.299.302,5 \\ &= 4,23 \times 10^7 \end{aligned}$$

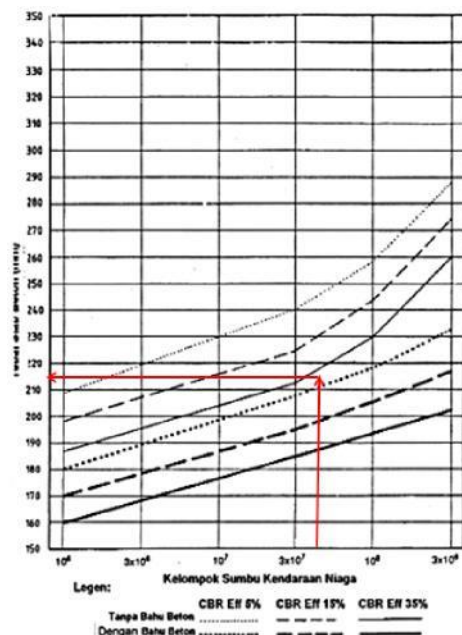
- Menentukan Repetisi Sumbu yang Terjadi
Perhitungan STRT dengan beban sumbu 6,20 ton.

$$\text{Proporsi beban} = 0,2134$$

$$\text{Proporsi sumbu} = 0,4984$$

$$\begin{aligned} \text{Repetisi yang terjadi} &= 0,2134 \times 0,4984 \times 42.299.302,5 \\ &= 4.498.497,25 \end{aligned}$$

- Faktor keamanan beban (FKB) yang digunakan adalah 1,1.
- Tebal taksiran pelat dapat dilihat pada Gambar 19. berikut.



Tabel 37. Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Beban

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah Kendaraan (bh)	Jumlah sumbu per kendaraan (bh)	Total Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = (6)*(7)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	1.00	1.00	-	-	7040	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus Kecil (1.2)	2.82	5.48	-	-	1380	2	2760	2.82	1380	5.48	1380	-	-
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	-	-	180	2	360	2.82	180	5.48	180	-	-
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	-	-	900	2	1800	5.15	900	10.0	900	-	-
Truck 3 as (T1.22)	6.20	18.76	-	-	670	2	1340	6.20	670	-	-	18.7	670
Truck gandengan (T 1.2 + 2.2)	5.65	8.79	8.48	8.48	10	4	40	5.65	10	8.79	10	-	-
										8.48	10	-	-
Total							6300		3140		2490		670

Sumber: Hasil analisa dan olahan data

Keterangan :

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

Tabel 38. Repetisi Sumbu yang Terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu (bh)	Jumlah Sumbu Total (bh)	Total Jenis Sumbu (bh)	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	JSKN rencana (bh)	Repetisi yang Terjadi
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6} = {3}/{4}	{7} = {4}/{5}	{8}	{9} = {6}*{7}*{8}
STRT	6.20	670	3140	6300	0.21338	0.49841	42299302.5	4498497.25
	5.65	10	3140	6300	0.00318	0.49841	42299302.5	67141.75
	5.15	900	3140	6300	0.28662	0.49841	42299302.5	6042757.50
	2.82	180	3140	6300	0.05732	0.49841	42299302.5	1208551.50
	2.82	1380	3140	6300	0.43949	0.49841	42299302.5	9265561.50
Total		3140			1.00			
STRG	10.00	900	2490	6300	0.36145	0.39524	42299302.5	6042757.50
	8.79	10	2490	6300	0.00402	0.39524	42299302.5	67141.75
	8.48	10	2490	6300	0.00402	0.39524	42299302.5	67141.75
	8.48	10	2490	6300	0.00402	0.39524	42299302.5	67141.75
	5.48	180	2490	6300	0.07229	0.39524	42299302.5	1208551.50
	5.48	1380	2490	6300	0.55422	0.39524	42299302.5	9265561.50
Total		2490			1.00			
STdRG	18.76	670	670	6300	1.00	0.10635	42299302.5	4498497.25
Total		670			1.00			
Kumulatif								42299302.50

Nilai kumulatif repetisi yang terjadi untuk jenis sumbu dan beban sumbu adalah sebesar 42299302,5
= (4,23 x 10⁷)

n. Analisa Fatik dan Erosi

Parameter dalam menentukan tebal perkerasan kaku memenuhi syarat dan tidaknya adalah menganalisis fatik dan erosi.

Perhitungan analisis erosi dan analisis fatik tebal taksiran 230 mm.

Perhitungan beban per roda STRT 62 kN,
Beban rencana per roda (kN)

$$= \frac{62 \times 2}{2} = 34,1 \text{ kN}$$

Perhitungan beban /roda STRG 100 kN
Beban rencana per roda (kN)

$$= \frac{100 \times 2}{2} = 27,5 \text{ kN}$$

Perhitung beban/roda STdRG 187,6 kN
Beban rencana per roda (kN)

$$= \frac{187,6 \times 2}{2} = 25,795 \text{ kN}$$

Tabel 39. Beban Rencana Per Roda

Jenis Sumbu	BS (kN)	FKB	Jmlh Roda	Beban/Roda (kN)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}={2}x{3}/{4}
STRT	62.00	1.1	2	34.1000
	56.50	1.1	2	31.0750
	51.50	1.1	2	28.3250
	28.20	1.1	2	15.5100
	28.20	1.1	2	15.5100
STRG	100.0	1.1	4	27.5000
	87.90	1.1	4	24.1725
	84.80	1.1	4	23.3200
	84.80	1.1	4	23.3200
	54.80	1.1	4	15.0700
STdRG	187.6	1.1	8	25.7950

(Sumber: Hasil analisa dan olahan data)

Nilai Tegangan Ekuivalen (TE) dan Faktor Erosi (FE) dengan nilai CBR efektif = 42% akan dihitung dengan cara interpolasi.

Interpolasi untuk nilai Tegangan Ekuivalen dengan CBR 35%, STRT = 0,82 ; CBR 50%, STRT = 0,79, didapat CBR 42% sebagai berikut :

$$T_{ESTRT} = \left[\frac{0,74 - 0,77}{0,756 - 0,77} \right] (0,74 - 0,77) + 0,77 = 0,756 \approx 0,76. \text{ Hasil perhitungan selanjutnya dilanjutkan}$$

dengan cara tabulasi dengan hasil perhitungan pada tabel berikut.

Tabel 40. Hasil Interpolasi Tegangan Ekuivalen (TE) dan Faktor Erosi (FE) Untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton Tebal Pelat 230 mm

Tebal Slab (mm)	CBR Eff (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi			
		Dengan Ruji/Beton Bertulang							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
230	35	0.77	1.25	1.05	0.78	2.02	2.62	2.73	2.82
230	42	0.76	1.22	1.02	0.76	2.02	2.62	2.72	2.80
230	50	0.74	1.19	0.99	0.74	2.01	2.61	2.70	2.78

* Sumbu Tunggal Roda Tungga (STRT)

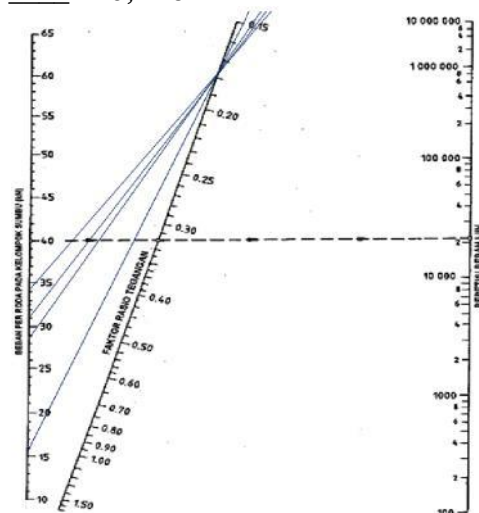
Penentuan nilai tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) pada tebal Slab 230 mm.

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi pada beban sumbu 62.00 kN.

Faktor rasio tegangan (FRT)

$$\frac{T}{(T)}$$

$$= \frac{0,76}{0,79} = 0,176 \text{ kN}$$



Gambar 20. Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton

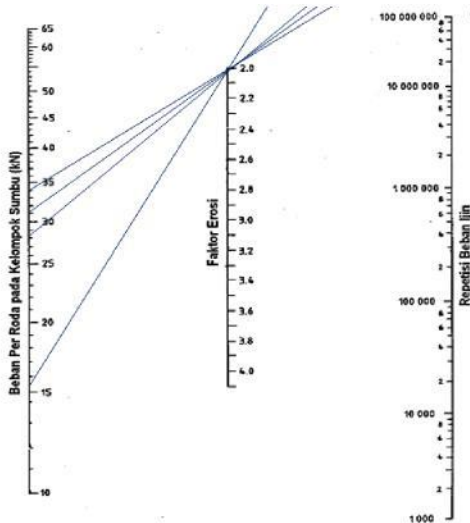
Persentase rusak analisis Fatik (%)

$$\frac{p \ t \ y \ t}{p \ t \ t}$$

$$= \frac{0}{0} \times 100 \%$$

Faktor Erosi (FE)

Faktor Erosi pada tebal slab beton 230 mm dengan nilai interpolasi = 2.02



Gambar 21. Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton.

Persentasi rusak analisis erosi (%)

$$= \frac{\Gamma_{p t y} \text{ terjadi}}{\text{Rep t} \text{ isa erosi}} \times 100\%$$

$$= \frac{4498497.25 \times 100}{0} = 0$$

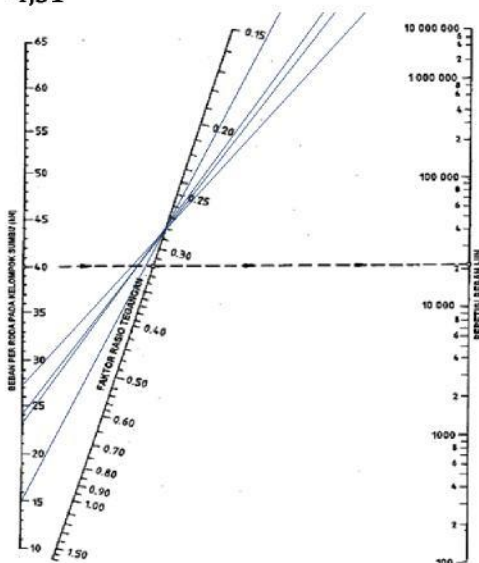
*** Sumbu Tunggal Roda Tungga (STRG)**

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi pada beban sumbu 100.00 kN

Faktor rasio tegangan (FRT)

$$= \frac{T}{(T)}$$

$$= \frac{1.22}{4.31} = 0.28 \text{ kN}$$



Gambar 22. Analisis fatik dan beban repetisi ijin dengan /tanpa bahu beton

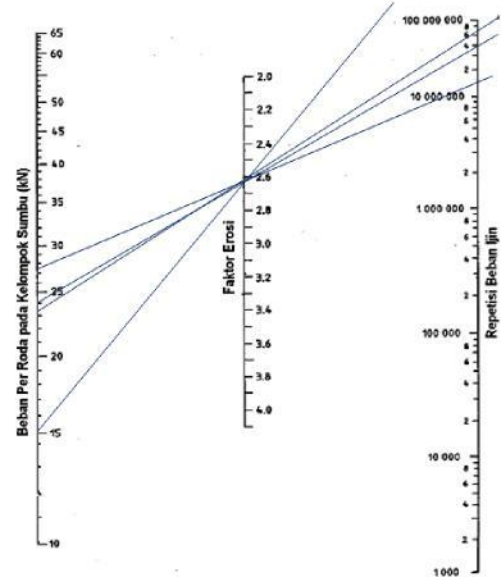
Persentasi rusak analisis Fatik (%)

$$= \frac{\text{Rep t y} \text{ terjadi}}{\text{Rep t} \text{ tik}} \times 100 \%$$

$$= \frac{6042757.5 \times 100}{0} = 0$$

Faktor Erosi (FE)

Faktor Erosi pada tebal slab beton 230 mm dengan nilai interpolasi = 2.62



Gambar 23. Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton.

Persentasi rusak analisis erosi (%)

$$= \frac{\Gamma_{p t y} \text{ terjadi}}{\text{Rep t} \text{ isa erosi}} \times 100\%$$

$$= \frac{6042757.5 \times 100}{15000000} = 40.29\%$$

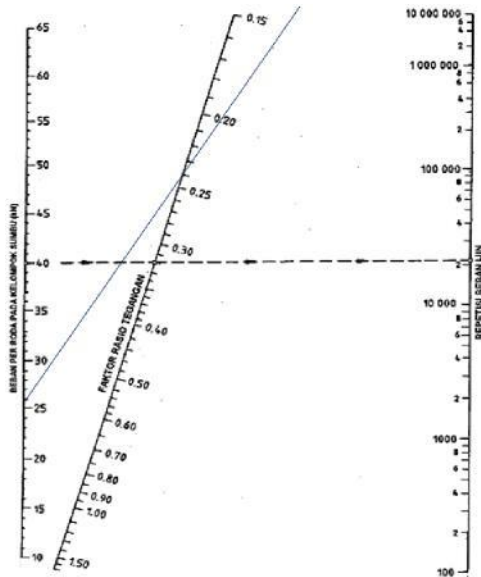
*** Sumbu Tunggal Roda Tungga (STdRG)**

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi pada beban sumbu 187.60 kN.

Faktor rasio tegangan (FRT)

$$= \frac{T}{(T)}$$

$$= \frac{1.22}{4.31} = 0.237 \text{ kN}$$



Gambar 24. Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton

Persentasi rusak analisis Fatik (%)

$$\frac{p \cdot t \cdot y}{p \cdot t} \cdot \frac{t}{t} = x \cdot 100 \%$$

$$= \frac{\quad}{\quad} = 0$$

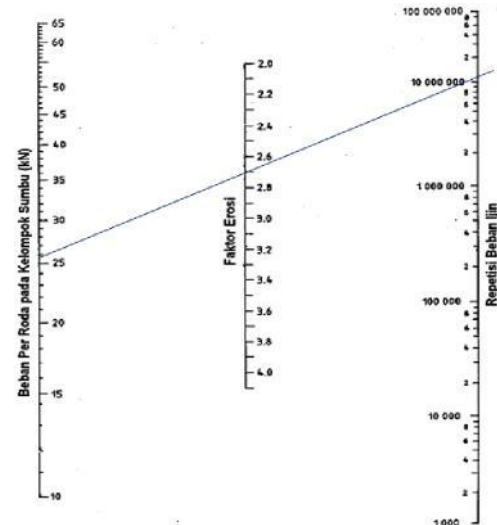
Faktor Erosi (FE)

Faktor Erosi pada tebal slab beton 230 mm dengan nilai interpolasi = 2.72

Tabel 41. Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 230 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}	{4}	{5}	{6}	{7} = {4}*100/{6}	{8}	{9} = {4}*100/{8}
STRT	62.00	34.1000	4498497.25	TE = 0,76	TT	0	TT	0
	56.50	31.0750	67141.75		TT	0	TT	0
	51.50	28.3250	6042757.5	FRT = 0,176	TT	0	TT	0
	28.20	15.5100	1208551.5	FE = 2,02	TT	0	TT	0
	28.20	15.5100	9265561.5		TT	0	TT	0
STRG	100.00	27.5000	6042757.5	TE = 1,22	TT	0	15000000	40.29
	87.90	24.1725	67141.75		TT	0	40000000	0.17
	84.80	23.3200	67141.75	FRT = 0,28	TT	0	70000000	0.10
	84.80	23.3200	67141.75		TT	0	70000000	0.10
	54.80	15.0700	1208551.5	FE = 2,62	TT	0	TT	0.00
	54.80	15.0700	9265561.5		TT	0	TT	0.00
	x 100%							
STdRG	187.60	25.7950	4498497.25	TE = 1,02 FRT = 0,237 FE = 2,7	TT	0	12000000	37.49
						0 < 100%	78.13 < 100%	

Dari 4 perhitungan analisa fatik dan erosi untuk tebal pelat beton, dan 2 diantaranya sudah memenuhi syarat atau nilainya < 100% sehingga tebal taksiran yang digunakan untuk desain perkerasan kaku yaitu 230 mm.



Gambar 25. Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton.

Persentasi rusak analisis erosi (%)

$$= \frac{p \cdot t \cdot y}{p \cdot t} \cdot \frac{t}{t}$$

$$= 37,49\%$$

Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode AASHTO 1993

Penggunaan metode AASHTO 1993 dalam menentukan tebal perkerasan kaku dengan tahapan-tahapan perhitungan sebagai berikut.

- Umur Rancangan = 20 tahun
- Faktor distribusi arah (D_A) = 0,3.

- Faktor distribusi lajur (D_L) = 0.85
- Pertumbuhan lalu lintas tahunan (g) sebesar 6% pertahun.
- Menghitung Volume Lalu Lintas Rencana (VDF) AASHTO 1993 menyarankan tebal perkerasan perkiraan dari 6 inchi sampai 14 inchi.

Tabel 42. Perhitungan ESAL Berdasarkan Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Jumlah Beban Sumbu	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Konfigurasi beban sumbu (kips)			
		AL 1	AL 2	AL 3	AL 4	AL 1	AL 2	AL 3	AL 4
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	2.00	1.00	1.00	-	-	2.20	2.20	-	-
Bus Kecil (1.2)	8.30	2.82	5.48	-	-	6.22	12.08	-	-
Truck 2 as (1.2L)	8.30	2.82	5.48	-	-	6.22	12.08	-	-
Truck 2 as (1.2H)	15.15	5.15	10.00	-	-	11.35	22.05	-	-
Truck 3 as (T 1.22)	24.96	6.20	18.76	-	-	13.67	41.36	-	-
Truck gandengan (T 1.2 + 2.2)	31.40	5.65	8.79	8.48	8.48	12.46	19.38	18.70	18.70

Sumber: Hasil Konversi beban sumbu dari Ton ke kips

Sebuah contoh perhitungan nilai VDF untuk jenis kendaraan bus kecil (1.2) dengan tebal slab rencana 10 inchi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{VDF} &= AL\ 1 + AL\ 2 \\
 &= 0.0124 + 0.1816 \\
 &= 0.194\ \text{ESAL}
 \end{aligned}$$

Tabel 43. 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
2.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
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
6.22	0.0149	0.0136	0.0125	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
12.08	0.2100	0.1960	0.1877	0.1827	0.1816	0.1806	0.1806	0.1796	0.1796
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
11.35	0.1688	0.1567	0.1497	0.1456	0.1446	0.1436	0.1436	0.1430	0.1430
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
22.05	2.2319	2.2208	2.3017	2.3636	2.4047	2.4254	2.4359	2.4361	2.4363
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55

Sumber : Hasil Interpolasi dari Tabel Axle Load Equivalenci Faktors for Rigid Pavements AASHTO199.

Tabel 44. 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
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
12.46	0.242	0.228	0.219	0.214	0.212	0.211	0.211	0.210	0.210
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
19.38	1.3515	1.3584	1.3791	1.3929	1.3998	1.3998	1.4067	1.4067	1.4067
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18.70	1.1773	1.1808	1.1912	1.1981	1.2016	1.2016	1.2051	1.2051	1.2051
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
13.67	0.3473	0.3317	0.3195	0.3137	0.3110	0.3100	0.3092	0.3090	0.3090
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336

Tabel 45. 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
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
41.36	4.0635	3.9227	4.0595	4.2903	4.4610	4.5650	4.6118	4.6454	4.6554
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96

Tabel 46. Perhitungan VDF dengan Tebal Slab Rencana 10 Inchi

Jenis Kendaraan	Disribusi Beban As Kedaraan (Kips)				Faktor Ekivalensi Beban Gadar (E)				Total Ekivale nsi
	AL 1	AL 2	AL 3	AL 4	AL 1	AL 2	AL 3	AL 4	
Sedan, Jeep, St. Wagon(1.1)	2.20	2.20	-	-	0.00	0.00	-	-	0.00
Bus Kecil (1.2)	6.22	12.08	-	-	0.01	0.18	-	-	0.1940
Truck 2 as (1.2L)	6.22	12.08	-	-	0.01	0.18	-	-	0.1940
Truck 2 as (1.2H)	11.35	22.05	-	-	0.14	2.40	-	-	2.5493
Truck 3 as (T 1.22)	13.67	41.36	-	-	0.31	4.46	-	-	4.7720
Truck gandengan (T 1.2 + 2.2)	12.46	19.38	18.70	18.70	0.21	1.40	1.20	1.20	1.6120

Tabel 47. Data Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR)

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan / hari
Sedan, Jeep, St. Wagon (1.1)	7040
Bus Kecil (1.2)	1380
Truck 2 as (1.2L)	180
Truck 2 as (1.2H)	900
Truck 3 as (T 1.22)	670
Truck gandengan (T 1.2 + 2.2)	10

Tabel 48. Perhitungan w₁₈ dengan Tebal Slab Rencana 10 Inchi

Jenis Kendaraan	LHR (kend /hari)	VDF	Faktor distrib usi arah (D _A)	Faktor distrib usi Lajur (D _L)	Jumlah hari dalam setahun	W ₁₈ (ESAL) Setahun Umur Rencana
Bus Kecil (1.2)	1380	0.1940	0.3	0.85	365	24919.702
Truck 2 as (1.2L)	180	0.1940	0.3	0.85	365	3250.396
Truck 2 as (1.2H)	900	2.5493	0.3	0.85	365	213552.307
Truck 3 as (T 1.22)	670	4.7720	0.3	0.85	365	297585.205
Truck gandengan (T 1.2 + 2.2)	10	1.6120	0.3	0.85	365	1500.337
Total						540807.948

W_{18} (ESAL) setahun umur rancangan dapat dihitung dengan persamaan 17. sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_{18} & \text{ pada kendaraan Bus (1.2)} \\ & = LHR \times VDF \times D_A \times D_L \times \text{Jumlah hari setahun} \\ & = 1380 \times 0.1940 \times 0.3 \times 0.85 \times 365 \\ & = 24919,7023. \end{aligned}$$

Nilai total W_{18} dalam 1 tahun dari hasil perhitungan Tabel, beban gandar selama umur rencana (W_t) dapat dihitung.

Perhitungan W_t untuk tebal slab 10 inchi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_t & = W_{18} \times \left(\frac{\text{tebal slab}}{10} \right)^0 \\ W_t & = 540807.9485 \times \left(\frac{10}{10} \right)^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_t & = 19893940.11 \\ & \text{ESAL} \end{aligned}$$

f. Reliability (R) Jalan Arteri yang didesain termasuk untuk transportasi antar kota (rural) dengan nilai Reliability berkisar dari 75 – 95% pada Tabel 2.19 sehingga nilai reliability (R) digunakan pada desain sebesar 85%.

g. Menentukan Nilai Standart Normal Deviate (ZR) berdasarkan Tabel 2.20 dengan nilai reliability 85% adalah sebesar - 1,037.

h. Menentukan Nilai Deviasi Standar (S_o) = 0,30 – 0,40 (diambil dari AASHTO 1993 halaman I-62). Standar deviasi digunakan pada desain adalah sebesar 0,34.

Menentukan Tingkat Kemampuan Pelayanan (Serviceability) Diisyaratkan oleh AASHTO 1993 untuk perkerasan kaku nilai P_o adalah 4,5.

Kemampuan pelayanan akhir (terminal serviceability, P_t) nilainya untuk jalur utama sebesar 2,5, maka Nilai kehilangan pelayanan total (total loss of serviceability) adalah sebagai berikut.

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

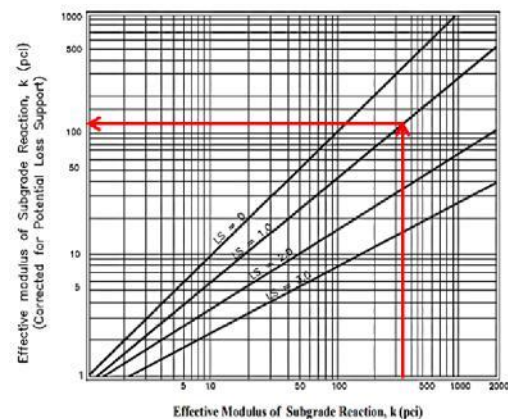
i. Menghitung Modulus Elastisitas Beton Nilai kuat tekan beton (f_c') sebesar 350 Kg/cm²(4978,17 psi). Modulus elastisitas beton (E_c) dan nilai kuat lentur (S_c') dihitung berdasarkan Persamaan 22, dan 23. sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c & = 5 \sqrt{f_c'} \\ & = 5 \sqrt{4978,17} \times 1 \\ & = 4021700,42 \text{ psi} \\ S_c' & = 5 \sqrt{f_c'} \\ & = 5 \sqrt{4978,17} \times 1 \\ & = 529,16 \text{ psi} \end{aligned}$$

j. Menghitung Modulus Reaksi Tanah Dasar dengan Nilai CBR sebesar 6%. Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} M_R & = 1500 \times CBR \\ k & = \frac{M_R}{1} = \frac{1500 \times 6}{1} \\ & = 9000 \text{ pci} \end{aligned}$$

Nilai elastisitas beton (E) sebesar 4021700,42 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 463,92 pci. Sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar koreksi ditentukan Gambar 26.



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

Gambar 26. Modulus Reaksi Tanah Dasar

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

k. Menentukan Nilai Koefisien Drainase (Cd) harus diketahui terlebih dahulu jumlah hari hujan per tahun sebagai berikut.

- Jumlah hari hujan rata-rata per tahun (Th rata-rata) = 202 hari
- Jumlah jam hujan rata-rata per hari (Tj) = 3 jam hujan per hari
- Koefisien C merujuk pada Tabel 15. untuk Jalan Beton Dan Jalan Aspal 0,70 - 0,95. Nilai C yang digunakan untuk desain sebesar 0,8.
- Menentukan Faktor Air Hujan Menentukan faktor air Hujan (WL) dapat dihitung dengan Persamaan 25. sebagai berikut.

$$\begin{aligned} WL &= 100 \cdot C \\ &= 100 \cdot 0,8 \\ &= 80 \% \end{aligned}$$

Untuk mencari persentase struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air dihitung dengan

$$P_{heff} = \frac{T}{T_{rata-rata}} \times \frac{Th \text{ rata-rata}}{T_{rata-rata}} \times W_L \times 100$$

Persamaan 24. berikut.

$$P_{heff} = \frac{T}{T_{rata-rata}} \times \frac{Th \text{ rata-rata}}{T_{rata-rata}} \times 0,2 \times 100$$

$$P_{heff} = 1,3835\% > 1\%$$

Diperoleh nilai koefisien drainase (Cd) dengan menggunakan kualitas drainase 1 - 5% (lihat tabel 16.) Nilai koefisien drainase (Cd) yang digunakan sebesar 1,20.

l. Menentukan Koefisien Transfer Beban (J) dengan merujuk Tabel 17. Nilai koefisien transfer beban (J) = 2,5 - 3,1 yang digunakan sebesar 3,1.

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan parameter input perencanaan

tebal perkerasan kaku metode AASHTO 1993 dapat di lihat pada Tabel 49.

Tabel 49. Para Meter Input

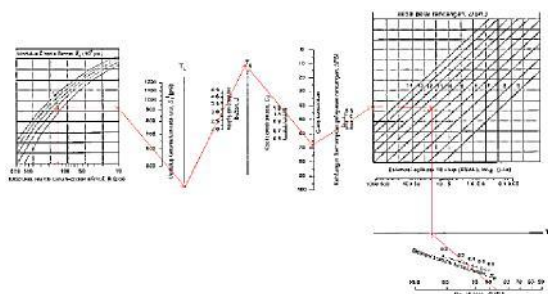
No.	Parameter Input	Nilai Input	Satuan
1	Umur Rencana	20	Tahun
2	Faktor distribusi arah (D_A)	0.3	
3	Faktor distribusi lajur (D_L)	85	%
4	Design ESAL = 8 inchi, 9 inchi, dan 10 inchi	18723274.07 19390197.47 19893940.11	ESAL
5	Reliability (R)	85	%
6	Standar normal deviasi (ZR)	-1.037	
7	Standar deviasi (S_o)	0.34	
8	Terminal serviceability index (Pt)	2.5	
9	Initial serviceability (P_o)	4.5	
10	Serviceability loss (ΔPSI)	2	
11	CBR tanah dasar	6	%
12	Modulus reaksi tanah dasar (k)	130	pci
13	Kuat tekan (f'_c)	350	Kg/cm ²
14	Modulus elastisitas beton (E_c)	4021700.42	psi
15	Flexural strength Kuat lentur beton (S_c)	530	psi
16	Drainage coefficient/ Koefisien drainase (C_d)	1.2	
17	Load transfer coefficient/ Koefisien transfer beban (J)	3.1	
18	Tebal Pelat Perkiraan	8 9 10	Inchi

Berdasarkan parameter input diatas dapat dimasukkan ke dalam Persamaan 26. Perhitungan untuk tebal slab diperkirakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \log W_{18} &= Z_R \cdot S_o + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}\right)}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot Pt) \\ &\quad \times \log \left[\frac{S_c \cdot Cd [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}}]} \right] \\ \log 19893940.11 &= -1,037 \cdot 0,34 + 7,35 \log(10+1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{2}{4,5-1,5}\right)}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(10+1)^{8,46}}} \\ &\quad + (4,22 - 0,32 \cdot 2,5) \times \log \left[\frac{530 \cdot 1,2 [10^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times 3,1 [10^{0,75} - \frac{18,42}{(4021700,42/130)^{0,25}}]} \right] \\ 7.298 &= 7.302 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk tebal slab 10 inchi berikut. tebal slab 10 inchi (25,5 cm) yang digunakan untuk perencanaan karena telah memenuhi syarat metode AASHTO 1993.

- n. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Nomogram Selain dengan cara formula pada metode AASHTO 1993, perhitungan tebal perkerasan dapat dihitung dengan cara menggunakan Nomogram seperti pada gambar 27. berikut.



Gambar 27. Penentuan Tebal Perkerasan Menggunakan Nomogram AASTHO 1993

Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode MDP 2017

Penggunaan metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 dalam menentukan tebal perkerasan kaku dengan langkah-langkah perhitungan perencanaan sebagai berikut.

- Umur rencana (UR) = 20 tahun
- Penentuan Kelompok Kendaraan Niaga

Tabel 50. Kelompok Sumbu, Jenis, dan Golongan Kendaraan

No	Jenis kendaraan	Jumlah kelompok sumbu / Kendaraan	Golongan
1	Bus kecil (1.2)	2	5A
2	Truk ringan 2 sumbu (1.2L)	2	6A
3	Truk sedang 2 sumbu (1.2H)	2	6B
4	Truk 3 sumbu (T 1.22)	2	7A2
5	Truk 3 sumbu (T 1.2+2.2)	4	7B

- Laju pertumbuhan lalu lintas (i) menggunakan nilai 6%
- Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas

$$R = \left(\frac{1}{1 - i} \right)^n - 1$$

$$R = 36,79$$
- CBR tanah dasar dengan nilai sebesar 6% tidak harus ada diperbaiki tanah dan nilai CBR tanah dasar efektif 42%.
- Kuat lentur beton (fcf) nilai kuat tekan yang digunakan sama data yang diperoleh pada pembahasan di metode sebelumnya yaitu sebesar 350 kg/cm² dan nilai kuat lentur betonnya adalah 43,92 kg/cm² atau 4,31 Mpa.
- Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Berat Pada perencanaan ini, Beban sumbu standar kumulatif (CESAL) dihitung tidak menggunakan tabel nilai VDF kendaraan niaga melainkan menghitung beban sumbu komualatif dengan cara alternatif yaitu menghitung jumlah kelompok sumbu kendaraan dikarenakan data parameter perencanaan sudah tersedianya.

JSKB Rencana

$$= \text{Kelompok Sumbu} \times D_D \times D_L \times 365 \times R$$

$$= 2760 \times 0.5 \times 0.8 \times 365 \times 36.79$$

$$= 14823121.83$$

Perhitungan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat ini dilanjutkan dan dapat dilihat pada Tabel 51. berikut.

Tabel 51. Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Berat

Jenis kendaraan	Jumlah Kel. Sumbu / Kend.	LHR 2015	Kelompok Sumbu 2015	Faktor Distribusi Arah (DD)	Faktor Distribusi Lajur (DL)	Jumlah hari dalam setahun	Faktor pertumbuhan Lalulintas	Jumlah Kelompok Sumbu 2015 2035
1	2	3	4 = 2*3	5	6	7	8	9
Bus Kecil (5A)	2	1380	2760	0.5	0.8	365	36.79	14823121.83
Truck 2 as (6A)	2	180	360	0.5	0.8	365	36.79	1933450.67
Truck 2 as (6B)	2	900	1800	0.5	0.8	365	36.79	9667253.37
Truck 3 as (7A2)	2	670	1340	0.5	0.8	365	36.79	7196733.06
Truck gandengan (7B)	4	10	40	0.5	0.8	365	36.79	214827.85
Kumulatif kelompok sumbu kendaraan berat 2015 - 2035								33835386.79

Dari tabel 51, maka hasil dari perhitungan beban sumbu standar kumulatif didapat sebesar 33.835.386,79 ($33,8 \times 10^6$), dan digunakan sebagai parameter dalam menentukan data tebal slab dan tebal lapis pondasi perkerasan rencana.

h. Pemilihan Struktur Perkerasan

Jenis perkerasan yang dipilih adalah perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (diatas tanah dengan $\text{CBR} \geq 2,5\%$) umur 20 tahun dengan volume lalu lintas $> 10 - 30$ juta yaitu 33.835.386,79 ($33,8 \times 10^6$) dan dilihat pada tabel 18. Bagan 4 Pemilihan Jenis Perkerasan.

i. Menentukan Tebal Perkerasan Dan Pondasi Jalan

Setelah didapatkan hasil perhitungan kumulatif sumbu kendaraan berat sebesar $33,8 \times 10^6$, maka hasil tersebut dapat digunakan sebagai pedoman perencanaan penentuan tebal lapisan pondasi bawah seperti Lean Mix Concrete (LMC) dan tebal lapis drainase (subbase) sebagaimana disajikan pada tabel 52. berikut.

Tabel 52. Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat (*Bagan Desain 4*)

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	YA				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber: Hasil analisa dan olahan data

j. Menentukan Pondasi Jalan Minimum

Secara umum perencanaan harus menerapkan desain yang dapat menghasilkan “faktor m” $\geq 1,0$ kecuali jika kondisi di lapangan tidak memungkinkan. Apabila drainase bawah permukaan tidak dapat disediakan maka tebal lapis fondasi agregat harus disesuaikan dengan menggunakan nilai koefisien drainase “m” sesuai ketentuan AASHTO 1993 atau Pt T-01-2002 B. Nilai koefisien drainase yang digunakan sesuai ketentuan AASHTO 1993 sebesar 1,2 maka tebal perkerasan dan lapis pondasi sebagai parameter desain rencana adalah sebagai berikut.

Tebal pelat rencana = ____ = 245 mm

Lean Mix Concrete (LMC) = ____ = 85 mm

Lapis Fondasi Kelas B = ____ = 125 mm

k. Faktor keamanan beban (FKB) yang digunakan sebagai desain adalah 1,1.

Perhitungan beban per roda STRT 62 kN,
Beban rencana per roda (kN)

$$= 34,1 \text{ kN}$$

l. Menentukan Repetisi Sumbu yang Terjadi

Perhitungan STRT dengan beban sumbu 6,20 ton.

Perhitungan beban per roda STRG 100 kN

$$\text{Proporsi beban} = 0,2134$$

Beban rencana per roda (kN)

$$= 27,5 \text{ kN}$$

$$\text{Proporsi sumbu} = 0,4984$$

$$\begin{aligned} \text{Repetisi yang terjadi} \\ &= 0,2134 \times 0,4984 \times 33835386.8 \\ &= 3598366.53 \end{aligned}$$

Perhitungan beban per roda STdRG 187,6 kN

Beban rencana per roda (kN)

m. Perhitungan Beban Rencana Per Roda

$$= 25,795 \text{ kN}$$

Tabel 53. Hasil Penghitungan Jumlah Sumbu & Proporsi Beban

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah Kend. (bh)	Jumlah sumbu /kend (bh)	Total Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
1	2	3	4	5	6	7	8 = 6*7	9	10	11	12	13	14
Bus Kecil (5A)	2.82	5.48	–	–	1380	2	2760	2.82	1380	5.48	1380	–	–
Truck 2 as (1.2L)	2.82	5.48	–	–	180	2	360	2.82	180	5.48	180	–	–
Truck 2 as (1.2H)	5.15	10.00	–	–	900	2	1800	5.15	900	10.00	900	–	–
Truck 3 as (T 1.22)	6.20	18.76	–	–	670	2	1340	6.20	670	–	–	18.76	670
Truck gandengan (7B)	5.65	8.79	8.48	8.48	10	4	40	5.65	10	8.79	10	–	–
										8.48	10	–	–
										8.48	10	–	–
Total							6300	3140		2490		670	
Proporsi Sumbu (%)								49.84		39.52		10.63	

Tabel 54. Repetisi Sumbu yang Terjadi

Jenis Sumbu	BS ton)	JS (bh)	Prop. Beban	Prop. Sumbu	JKS Renc.	Repetisi Terjadi
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
STRT	6.20	670	0.2134	0.4984	33835386.8	3598366.53
	5.65	10	0.0032	0.4984	33835386.8	53706.96
	5.15	900	0.2866	0.4984	33835386.8	4833626.68
	2.82	180	0.0573	0.4984	33835386.8	966725.34
	2.82	1380	0.4395	0.4984	33835386.8	7411560.92
Total		3140	1.00			
STRG	10.00	900	0.3614	0.3952	33835386.8	4833626.68
	8.79	10	0.0040	0.3952	33835386.8	53706.96
	8.48	10	0.0040	0.3952	33835386.8	53706.96
	8.48	10	0.0040	0.3952	33835386.8	53706.96
	5.48	180	0.0723	0.3952	33835386.8	966725.34
Total		2490	1.00			
STdRG	18.76	670	1.00	0.1063	33835386.8	3598366.53
Total		670	1.00			
Kumulatif						33835386.79

Tabel 55. Beban Rencana Per Roda

Jenis Sumbu	BS (kN)	FKB	Jmlh Roda	Beban/Roda (kN)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}={2}x {3}/{4}
STRT	62.00	1.1	2	34.1000
	56.50	1.1	2	31.0750
	51.50	1.1	2	28.3250
	28.20	1.1	2	15.5100
	28.20	1.1	2	15.5100
STRG	100.0	1.1	4	27.5000
	87.90	1.1	4	24.1725
	84.80	1.1	4	23.3200
	84.80	1.1	4	23.3200
	54.80	1.1	4	15.0700
STdRG	187.6	1.1	8	25.7950

Sumber: Hasil analisa dan olahan data

Nilai Tegangan Ekvivalen (TE) dan Faktor Erosi (FE) dengan nilai CBR efektif = 42% akan dihitung dengan cara interpolasi. Interpolasi untuk nilai Tegangan Ekvivalen dengan CBR 35%, STRT = 0,72 ; CBR 50%, STRT = 0,69, didapat CBR 42% sebagai berikut :

$$\overline{TE}_{STRT} = \left[\left(\frac{42 - 35}{50 - 35} \right) \right] (0,67 - 0,71) + 0,71 = 0,69.$$

Hasil perhitungan selanjutnya dilanjutkan dengan cara tabulasi dengan hasil perhitungan pada tabel 56.berikut.

Tabel 56. Hasil Interpolasi TE dan FE Perkerasan Tanpa Bahu Beton Tebal Pelat 240,5 mm

Tebal Slab (cm)	CBR Eff (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi			
		STRT	STRG	STdRG	STeRG	STRT	STRG	STdRG	STeRG
24	42	0.71	1.15	0.97	0.72	1.96	2.56	2.68	2.76
24.5	42	0.69	1.12	0.94	0.71	1.93	2.53	2.65	2.74
25	42	0.67	1.09	0.92	0.69	1.91	2.51	2.63	2.72

n. Analisis Tebal Perkerasan dengan Faktor Fatik Dan Erosi Tebal perkerasan.

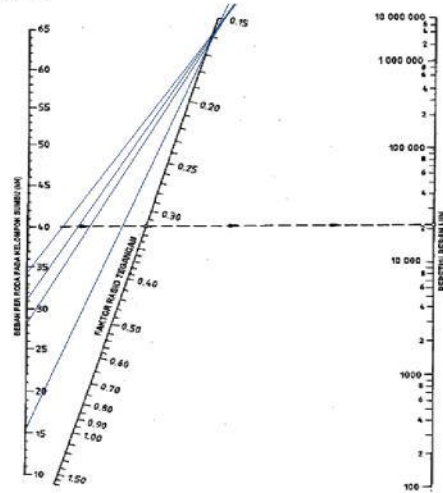
* Sumbu Tunggal Roda Tungga (STRT)

Penentuan nilai tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) pada tebal Slab 240,5 mm.

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi pada beban sumbu 62.00 kN.

Faktor rasio tegangan (FRT)

$$= \frac{T}{(T)} = \frac{4,31}{0,160} = 0,160 \text{ kN}$$



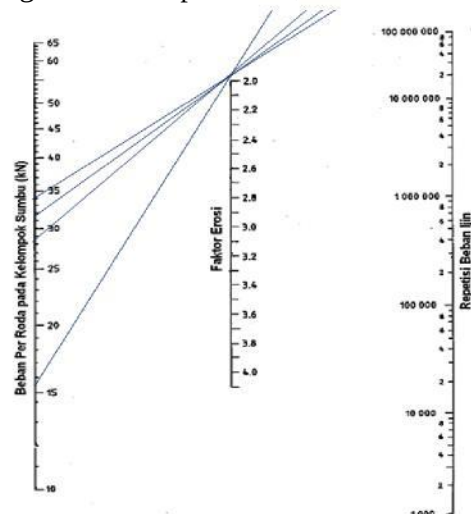
Gambar 28. Analisis fatik dan beban repetisi ijin rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton

Persentasi rusak analisis Fatik (%)

$$= \frac{\text{Rept} \text{ t} \text{ erjadi}}{\text{Rep t} \text{ tik}} \times 100 \% = \frac{3598366.53 \times 100}{0} = 0$$

Faktor Erosi (FE)

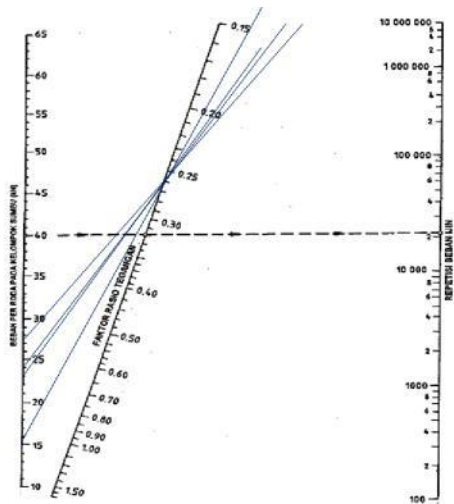
Faktor Erosi pada tebal slab beton 240,5 mm dengan nilai interpolasi = 1,93



Persentasi rusak analisis erosi (%)

$$= \frac{p \text{ t} \text{ y} \text{ terjadi}}{p \text{ t} \text{ isa erosi}} \times 100 \% = \frac{3598366.53 \times 100}{0} = 0$$

$$\frac{T}{(T)} = \frac{0,260 \text{ kN}}{0,260 \text{ kN}} = 1$$



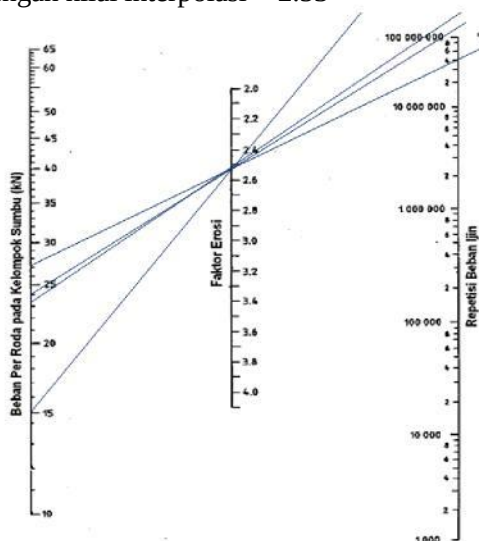
Gambar 30. Analisis fatik dan beban repetisi ijin dengan /tanpa bahu beton

$$\text{Persentasi rusak analisis Fatik (\%)} = \frac{\text{Rep t y terjadi}}{\text{Rep t tik}} \times 100 \%$$

$$= \frac{4833626.68 \times 100}{0} = 0$$

Faktor Erosi (FE)

Faktor Erosi pada tebal slab beton 240,5 mm dengan nilai interpolasi = 2.53



$$\frac{p t y}{p t} = \frac{t}{t} \times 100\%$$

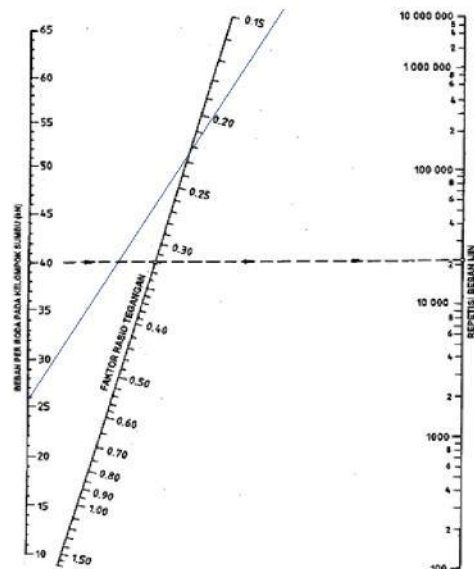
$$= 12,08\%$$

* Sumbu Tunggal Roda Tungga (STdRG)

Perhitungan analisis fatik dan analisis erosi pada beban sumbu 187.60 kN.

Faktor rasio tegangan (FRT)

$$\frac{T}{(T)} = \frac{187,60 \text{ kN}}{4,31 \text{ kN}} = 0,218 \text{ kN}$$



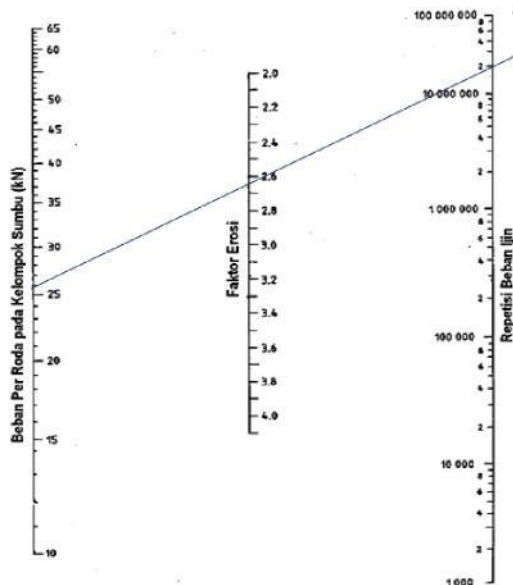
Gambar 32. Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan /tanpa bahu beton

$$\text{Persentasi rusak analisis Fatik (\%)} = \frac{\text{Rep t y terjadi}}{\text{Rep t tik}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3598366.53 \times 100}{0} = 0$$

Faktor Erosi (FE)

Faktor Erosi pada tebal slab beton 240,5 mm dengan nilai interpolasi = 2.65



Gambar 33. Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton.

$$\begin{aligned} \text{Persentasi rusak analisis erosi (\%)} &= \frac{p}{t} \times 100\% \\ &= \frac{0}{17.99} \times 100\% \\ &= 17.99\% \end{aligned}$$

Tabel 57. Hasil Analisis Fatik dan Erosi dengan Tebal Taksiran 240,5 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana/Roda (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisis Fatik		Analisis Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7} = {4} * 100 / {6}	{8}	{9} = {4} * 100 / {8}
SIRT	62.00	34.1000	3598366.53	TE = 0,69	TT	0	TT	0
	56.50	31.0750	53706.96		TT	0	TT	0
	51.50	28.3250	4833626.68	FRT = 0,160	TT	0	TT	0
	28.20	15.5100	966725.34	FE = 1,93	TT	0	TT	0
	28.20	15.5100	7411560.92		TT	0	TT	0
STRG	100.00	27.5000	4833626.68	TE = 1,12	TT	0	40000000	12.08
	87.90	24.1725	53706.96		TT	0	TT	0
	84.80	23.3200	53706.96	FRT = 0,260	TT	0	TT	0
	84.80	23.3200	53706.96		TT	0	TT	0
	54.80	15.0700	966725.34	FE = 2,53	TT	0	TT	0
	54.80	15.0700	7411560.92		TT	0	TT	0
STdRG	187.60	25.7950	3598366.53	TE = 0,94 FRT = 0,218 FE = 2,65	TT	0	20000000	17.99
						0 < 100%	30.08 < 100%	

Setelah dilakukan perhitungan tebal perkerasan dan hasil yang didapatkan telah memenuhi syarat < 100% dan tebal 24,5 cm dapat digunakan.

Perhitungan Tulangan

Salah satu contoh perencanaan tulangan pada perkerasan kaku bersambung

dengan tulangan (JRCP) ini menggunakan beberapa data perencanaan sebagai berikut.

- Data perencanaan
 - Tebal pelat = 20 cm
 - Lebar pelat = 2 x 4 = 8 m

- Panjang pelat = 5,5 m
- Koefesien gesek (μ) = 1,8 (stabilitas semen)
- Mutu baja U-39 = 3900 kg/m² (f_y = 390 Mpa)
- Kuat tarik ijin baja (f_s) = 0,6 x f_y = 234 Mpa
- Berat isi beton (M) = 2400 kg/m³ (f_y = 240 Mpa)
- Gravitasi (g) = 9,81 m/dt²

b. Perhitungan tulangan memanjang

$$A_s = \frac{F}{\dots}$$

$$A_s = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 99,51 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0.14\% \times 200 \times 1000 = 280 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

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

c. Perhitungan tulangan melintang

$$A_s = \frac{F}{\dots}$$

$$A_s = \frac{\dots}{\dots}$$

$$= 144,74 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_s \text{ min} = 0.14\% \times 200 \times 1000 = 280 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Dalam perencanaan untuk menentukan luas tulangan pelat, jarak dan diameter, maka digunakan tabel 2.44. Pd T-14-2003.

Wire Mesh Ø 9 mm – 200 mm = 318 mm² /m' > A_s min (memanjang maupun melintang) = 280 mm² /m'.

- Jumlah tulangan memanjang Ø 9 mm – 200 mm sepanjang 1000 mm adalah :

$$A_s = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3,14 \times 9^2$$

$$= 63,58 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = 318/63,58 = 5,002 (digenapkan), maka digunakan 5D9 – 200 mm.

- Jumlah tulangan melintang Ø 9 mm – 200 mm sepanjang 1000 mm adalah :

$$A_s = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3,14 \times 9^2 = 63,58 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = 318/63,58 = 5,002 (digenapkan), maka digunakan 5D9 – 200 mm.

Perencanaan Sambungan

a. Ruji (Dowel)

Ukuran Dowel yang digunakan untuk ketebalan pelat 200 mm pada perencanaan menurut literatur Universitas Indonesia mengacu pada tabel 2.49 adalah sebagai berikut;

- Panjang ruji = 18 inchi = 457,2 mm
- Jarak antar ruji = 12 inchi = 304,8 mm
- Diameter ruji = 1 inchi = 25,4 mm

b. Batang pengikat (Tie bar)

Dalam menentukan kebutuhan panjang batang pengikat Tie bar dari literatur UI tabel 2.47 sebagai berikut.

- Ketebalan pelat beton = 8 inchi = 200 mm,
- Jarak sambung/lebar pelat = 12 ft = 3,7 m,
- Diameter batang Tie bar yang digunakan ulir = 1/2 inchi = 13 mm
- Jarak antara batang pengikat = 40 inchi = 1.016 mm
- Panjang batang pengikat (I) = 25

$$\text{inchi} = 635 \text{ mm}$$

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Evaluasi dan Perbandingan Tebal Perkerasan

Perencanaan tebal perkerasan kaku yang ada dari penelitian terdahulu dengan metode Bina Marga berpedoman pada Pd T-

14-2003 akan dievaluasi dan dibandingkan hasil menggunakan empat metode lain, antara lain yaitu metode PCA (Portland Cement Association), metode Bina Marga 2002, metode AASHTO 1993, dan metode MDP 2017 sebagai perbandingan pada perencanaan struktur perkerasan kaku dan sekaligus untuk mengetahui selisih ketebalan perkerasan yang dihasilkan dari beberapa metode tersebut.

Perencanaan perkerasan kaku pada ruas jalan Batas Kota Padang-Simpang Haru Sumatera Barat ini telah dievaluasi dengan menggunakan beberapa metode diantaranya metode Portland Cement Association (*PCA*), metode Bina Marga 2002, metode AASHTO 1993, metode Manual Desain Perkerasan (*MDP 2017*) dan terdapat beberapa perbedaan ketebalan pelat beton dan tebal pondasi seperti terlihat pada tabel 58. berikut.

Hasil Analisa Perbandingan Metode Perencanaan

Tabel 58. Perbedaan tebal pelat beton masing-masing metode

Metode	Tebal Struktur Perkerasan		
	Slab Beton (cm)	Lean Concrete (cm)	Pondasi Agregat (cm)
Pd. T-14-2003	22	10	—
Portland Cement Association (PCA)	20	10	—
Bina Marga 2002	23	10	—
AASHTO 1993	25,5	10	—
Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017	24,5	8,5	12,5 Agregat B

Sumber: Hasil analisa dan olahan data

Tabel 59. Perbandingan Parameter Input Masing-Masing Metode

N o	Parameter Input	Metode Pd T-14- 2003	Metode PCA	Metode BM 2002	Metode AASHTO 1993	Metode MDP 2017
1.	Umur Rencana	20-40tahun	20-40tahun	20-40tahun	20-40 tahun	20-40tahun
2.	CBR Tanah Dasar	Min. 6%	Min. 6%	Min. 6%	Min. 6%	Min. 6%
3.	Serviceability				Po sebesar 4,5 dan Pt sebesar 2,5	
4.	Reliability (R)				Nilai yang digunakan 85%	
5.	Standar Normal Deviation (ZR)				Nilai yang digunakan dipengaruhi nilai reliability -1,037	
6.	Standar Deviation (So)				Nilai yang digunakan 0,3-0,4 (0,34)	
7.	Modulus Elastisitas Beton (Ec)	Mutu beton minimum 350 kg/cm ²			Mutu beton minimum 350 kg/cm ²	
8.	Koefisien Drainase (Cd)				1,15 - 1,20 Dipakai 1,2	
9.	Koefisien Transfer Beban (J)				Nilai bahu aspal dengan alat transfer beban sebesar 3,1	
10.	Faktor Keamanan Beban	Digunakan 1,1	Digunakan 1,1	Digunakan 1,1		Digunakan 1,11
11.	Vehicle Damage Factor	Min. kend. 5 ton	Min. kend. 5 ton	Min. kend. 5 ton	Min. kendaraan 8,16 ton	Min. kend. 5 ton
12.	Faktor Lajur	Digunakan 0,9	Digunakan 0,9	Digunakan 0,9	Nilai digunakan 0,85	Digunakan 0,9

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan bersambung dengan tulangan menggunakan metode Portland Cement Association (*PCA*), Bina Marga 2002, AASHTO 1993, dan Manual Desain Perkerasan (*MDP 2017*) pada ruas Jalan Batas Kota Padang-Simpang Haru Propinsi Sumatera Barat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Tebal struktur perkerasan kaku bersambung dengan tulangan berdasarkan hasil penelitian terdahulu menggunakan metode Pd T-14-2003 diperoleh tebal pelat adalah 22 cm, tebal pondasi dengan Campuran Beton Kuru (CBK) 10 cm. Tulangan wire mesh 0 8 mm-150 mm. Sambungan menggunakan tulangan Dowel 0 33 mm, panjang 450 mm, dan Jarak 300 mm. Tie bar menggunakan tulangan 0 16 mm, panjang 700 mm, Jarak 750 mm.
2. Tebal perkerasan kaku berdasarkan hasil penelitian berikut.
 - Menggunakan metode Portland Cement Association (*PCA*) diperoleh tebal pelat adalah 200 mm, tebal pondasi dengan Lean Concrete (LC) 100 mm. Tulangan wire mesh 0 9 mm-200 mm. Sambungan menggunakan tulangan Dowel 0 25,4 mm, panjang 457 mm, dan Jarak 305 mm. Tie bar menggunakan tulangan 0 13 mm, panjang 635 mm, Jarak 1016 mm.
 - Menggunakan metode Bina Marga 2002 diperoleh tebal pelat adalah 230 mm, tebal pondasi dengan Lean Concrete (LC) 100 mm. Tulangan wire mesh 0 8 mm-200 mm. Sambungan menggunakan tulangan Dowel 0 36 mm, panjang 450 mm, dan Jarak 300 mm. Tie bar menggunakan tulangan 0 16 mm, panjang 688 mm, Jarak 750 mm.
 - Menggunakan metode AASHTO 1993 diperoleh tebal pelat adalah 255 mm, tebal pondasi dengan Campuran Beton Kuru (CBK) 100 mm. Tulangan wire mesh 0 10 mm-200 mm. Sambungan

menggunakan tulangan Dowel 0 32 mm, panjang 457 mm, dan Jarak 305 mm. Tie bar menggunakan tulangan 0 16 mm, panjang 762 mm, Jarak 1219 mm.

- Menggunakan metode Manual Desain Perkerasan (*MDP 2017*) diperoleh tebal pelat adalah 245 mm, tebal pondasi dengan Lean Mix Concrete (LMC) 85 mm, lapis pondasi agregat kelas B 125 mm. Tulangan wire mesh 0 8 mm - 200 mm. Sambungan menggunakan tulangan Dowel 0 36 mm, panjang 450 mm, dan Jarak 300 mm. Tie bar menggunakan tulangan 0 16 mm, panjang 688 mm, Jarak 750 mm.
3. Perbandingan tebal pelat dari perhitungan penelitian terdahulu dengan metode Bina Marga berpedoman Pd T-14-2003 tebal 22 cm dengan metode Portland Cement Association (*PCA*) didapatkan selisihnya 2 cm lebih kecil, dengan metode Bina Marga 2002 didapatkan selisihnya 1 cm lebih besar, dengan metode AASHTO 1993 didapatkan selisih 3,5 cm lebih besar, dan dengan metode Manual Desain Perkerasan (*MDP 2017*) didapatkan selisihnya 2,5 cm lebih besar, Maka untuk selisih dari ke 5 metode tersebut berkisar 1 - 5,5 cm tidak berbeda terlalu jauh dan telah memenuhi standar perhitungan tebal perkerasan kaku untuk spesifikasi Jalan Arteri.
 4. Perbedaan ketebalan pelat penelitian terdahulu menggunakan metode Bina Marga berpedoman Pd T-14-2003 dengan empat metode lain seperti metode Portland Cement Association (*PCA*), Bina Marga 2002, AASHTO 1993, dan Manual Desain Perkerasan (*MDP 2017*) disebabkan karena perbedaan dari parameter input masing-masing metode itu sendiri. Perbedaan itu terdapat pada penentuan nilai serviceability, reliability (R), standar normal deviation (ZR), koefisien drainase (Cd), koefisien

transfer beban (J), modulus elastisitas beton (E_c), faktor keamanan beban dan jenis bahu jalan.

Saran

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dari hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Dalam perencanaan tebal perkerasan kaku bersambung dengan tulangan dengan metode Portland Cement Association (PCA), metode Bina Marga 2002, metode AASHTO 1993, dan metode Manual Desain Perkerasan (MDP 2017) banyak menggunakan tabel dan grafik juga nomogram, sehingga perlu kehati-hatian dan ketelitian dalam pembacaannya agar mendapatkan hasil yang akurat.
2. Sebaiknya lebih banyak lagi melakukan perbandingan metode-metode perencanaan lainnya supaya memperluas pengetahuan dalam menentukan metode yang tepat dalam perencanaan perkerasan kaku terutama dari pengaruh iklim dan lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.
- Portland Cement Association. 1995. *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavement*, Portland Cement Association (PCA), USA
- Martin Nugroho Widodo. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku pada Ruas Jalan Tol Colomadu-Karanganyar dengan Metode AASHTO 1993 Dan Metode Bina Marga 2002. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2011-2015. Jumlah Hari Hujan Per Tahun. *Data Sekunder*. Sicincin Sumatera Barat.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Modul 1, Diklat Konsep Dasar Konstruksi Perkerasan Kaku*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Bagan Desain 4. Manual Desain Perkerasan Jalan 2017*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2005. *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Modul Pelatihan Road Design Engineer (RDE) 11 : Perencanaan Perkerasan Jalan*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Modul Pelatihan Road Design Engineer (RDE) 08 : Rekayasa Lalu Lintas*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Modul Pelatihan Road Design Engineer (RDE) 07 : Dasar-Dasar Perencanaan Drainase Jalan*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah 2003. *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003*. Jakarta.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Pedoman XX Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1988. *Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku (SKBI-2.3.28. 1988)*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1985. *Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku (Beton Semen) 1985*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MN/BM/83*. Direktorat Jendral Bina Marga. Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2006. *Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tentang Jalan*. Indonesia

Doni Haidar Nur (2019) “PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU DI RUAS JALAN TAMAN RAHAYU PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIMANGGIS – CIBITUNG SEKSI 2 KOTA BEKASI”, JURNAL TEKNIK SIPIL-ARSITEKTUR, 18(2), pp. 62-67. Available at: <http://jurnalftspjayabaya.ac.id/index.php/jsa/article/view/13>

Jimmy, Darmadi. (2019). PERBANDINGAN BIAYA DESAIN PERKERASAN ASPAL DENGAN UMUR RENCANA PADA PROYEK JALAN

BATAS KOTA CILEGON-CIBALIUNG DAN CITEREUP-TANJUNG LESUNG. JURNAL TEKNIK SIPIL-ARSITEKTUR, 18(2), 54-61. Retrieved from <http://jurnalftspjayabaya.ac.id/index.php/jsa/article/view/17>

Ir. M. Anas. Aly, 2004. *Jalan Beton Semen*. Yayasan Pengembangan Teknologi dan Manajemen. Jakarta.

Principles of pavement design by Yoder & Witczak 1975

Literatur Universitas Indonesia