

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam proses perhitungan perlu adanya data-data lapangan yang diambil dari Ruas Surakarta. Adapun data yang didapat guna bahan pengelolaan penyusunan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

- Data topografi
- Data lalu lintas

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Topografi

Data topografi digunakan sebagai kontrol geometris yang meliputi jarak pandang, pelebaran pada tikungan dan perencanaan sistem drainase (saluran tepi). Adapun dari hasil pengamatan langsung di lapangan bahwa ruas Surakarta adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Topografi

No	Data Jalan	Keterangan
1.	Nama Jalan	Ruas Surakarta – Sukoharjo
2.	Klasifikasi Jalan	Kolektor Sekunder
3.	Lebar Perencanaan	7 Meter
4.	Panjang Jalan	5,58 KiloMeter
5.	Tipe Jalan	2/2 UD (Dua lajur dua arah tidak terbagi)
6.	Awal Umur Rencana	2021
7.	Umur rencana (thn)	20 Tahun

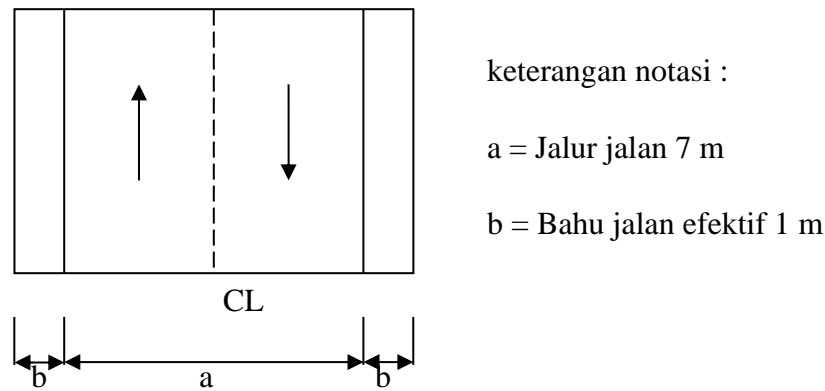
(Sumber : Hasil Survey)

4.2.2 Data Kondisi Lalu Lintas

Kondisi Ruas Surakarta secara umum merupakan ruas jalan di wilayah Kota Surakarta. Lebar perkerasan jalan tersebut 7 m dengan panjang 5,58 km. Kondisi lalu lintas yang melalui Ruas Surakarta ini adalah lalu lintas campuran terdiri dari: truk trailer, truk besar dan kecil, bus besar dan kecil, *jeep*, sedan, *pick up*, sepeda motor serta sepeda.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan maka Ruas Surakarta dapat digolongkan menjadi jalan raya kolektor, semi perkotaan karena jalan ini melayani angkutan pengumpul dan pembagi, dengan ciri-ciri jarak perjalanan sedang, kecepatan sedang dan jalan masuk dibatasi (*Undang-undang RI. Nomor 2, tahun 2022*).

Adapun gambar tampak atas Ruas Surakarta seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tampak Atas Ruas Surakarta

4.3 Analisis Perhitungan Nilai Tebal Perkerasan Lentur

4.3.1 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

pertumbuhan lalu lintas dilihat dari perbandingan nilai pertumbuhan lalu lintas rata-rata jumlah kendaraan pertahun maka diperhitungkan nilai rata-rata pertumbuhan jumlah kendaraan pertahun dihitung dengan total jumlah kendaraan pertahun dihitung total jumlah kendaraan pada Ruas Surakarta pada 5 tahun kebelakang yaitu : 2018, 2019, 2020, 2021, 2022.

Tabel 4.2 Jumlah Kendaraan Ruas Surakarta Tahun 2018-2022

JENIS KENDARAAN	2018	2019	2020	2021	2022
Sepeda motor	3090	3397	3675	4223	4329
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1114	1305	1308	1409	1448
bus kecil	56	60	70	673	1405
bus besar	57	58	154	168	447
truk ringan 2 sumbu	496	673	1528	1844	1877
truk sedang 2 sumbu	124	125	168	184	399
truk 3 sumbu	9	36	182	198	374
truk gandeng	0	1	3	3	5
truk semi trailer	0	32	33	34	39
kendaraan tidak bermotor	170	224	813	825	1711
jumlah kendaraan per hari	5116	5911	7934	9561	12034
jumlah kendaraan per tahun	10232	11822	15868	19122	24068

(Sumber : Dinas PUPR Surakarta)

Contoh nilai faktor laju pertumbuhan lalu lintas (I)

Pertumbuhan lalu lintas adalah pertambahan atau pertumbuhan lalu lintas dari tahun ke tahun selama umur rencana. Didapatkan jumlah kendaraan tahun 2021 (tahun awal) sebesar 19122 kendaraan dan pada tahun 2022 (tahun akhir) sebesar **24068** kendaraan maka didapatkan nilai pertumbuhan lalu lintas sebagai berikut :

$$i (2021-2022) = \left(\left(\frac{b}{a} \right)^{\frac{1}{n}} - (1) \right) \times 100\%$$

$$i = \left(\left(\frac{19122}{24068} \right)^{\frac{1}{n}} - (1) \right) \times 100\%$$

$$i = 9.5\% = 0.095$$

Dimana :

a = jumlah kendaraan tahun awal

b = jumlah kendaraan tahun akhir

n = jumlah tahun

perhitungan laju pertumbuhan lalu lintas untuk kendaraan truk gandeng diketahui data lalu lintas harian rata-rata (LHR) sebagai berikut :

Perhitungan ini digunakan juga untuk menghitung laju pertumbuhan kendaraan. Hasil perhitungan untuk kendaraan lain dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Pertumbuhan Laju Kendaraan Tiap Tahun i (%)

JENIS KENDARAAN	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	RATA- RATA
Sepeda motor	2,4%	3,2%	12,1%	10,9%	7,15
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	3,5%	19,6%	8,3%	7,4%	9,7
bus kecil	6,6%	14,2%	8,9%	5,2%	8,72
bus besar	17,2%	6,2%	8,3%	6,2%	4,47
truk ringan 2 sumbu	2,6%	5,5%	17,1%	17,5%	10,67
truk sedang 2 sumbu	8%	2,5%	8,6%	5,3%	6.1
truk 3 sumbu	7,5%	8,02%	8,0%	4,7%	7,05
truk gandeng	1%	6,6%	0%	4%	2,9
truk semi trailer	1%	30,0%	2,9%	12,8%	11,67
kendaraan tidak bermotor	2,4%	7,2%	14,5%	5,1%	7.3

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Contoh perhitungan factor pertumbuhan lalu lintas rata rata pada tahun 2018 – 2022 dari data pertumbuhan lalu lintas dan umur rencana dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR}-1}{0,01 i}$$

Keterangan :

R = Factor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = Umur rencana (tahun)

Umur Rencana = 5 Tahun

Pertumbuhan rata-rata lalu lintas = 0.04 %

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$R5 = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR-1}}{0,01 i}$$

$$R5 = \frac{(1+0,01 \times 0,04)^5-1}{0,01 \times 0,04}$$

$$R5 = 5.009$$

Umur Rencana = 10 Tahun

Pertumbuhan rata-rata lalu lintas = 0.04 %

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$R10 = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR-1}}{0,01 i}$$

$$R10 = \frac{(1+0,01 \times 0,04)^{10}-1}{0,01 \times 0,04}$$

$$R10 = 10.042$$

Umur Rencana = 15 Tahun

Pertumbuhan rata-rata lalu lintas = 0.04 %

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$R15 = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR-1}}{0,01 i}$$

$$R15 = \frac{(1+0,01 \times 0,04)^{15}-1}{0,01 \times 0,04}$$

$$R15 = 15.100$$

Umur Rencana = 20 Tahun

Pertumbuhan rata-rata lalu lintas = 0.04 %

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

$$R20 = \frac{(1+0,01 \times i)^{UR-1}}{0,01 i}$$

$$R_{20} = \frac{(1+0,01 \times 0.04)^{15}-1}{0,01 \times 0.04}$$

$$R_{20} = 20.181$$

Tabel 4.4 Perhitungan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)
5	5.009
10	10.042
15	15.100
20	20.181

4.3.2 Umur Rencana Dan Kapasitas Jalan

1. Umur rencana perkerasan lentur digunakan elemen perkerasan lapis aspal dan lapis berbutiran yaitu 20 tahun yang terdapa pada tabel 2.3. untuk menentukan umur rencana perlu dihitung kapasitas jalan.

- (Co) = Kapasitas dasar

Tabel 4.5 Kapasitas Dasar Co

Tipe jalan	C ₀ (skr/jam)	Catatan
4/2Tatau Jalan satu-arah	1650	Per lajur (satu arah)
2/2 TT	2900	Per Jalur (dua arah)

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 30)

Adalah kapasitas dasar dengan satuan Skr/Jam, dengan :

tipe jalan 2/2 TT =2900 skr/jam, Catatan per jalur (dua arah)

- FC_{LJ} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait lebar jalur atau jalur lalu lintas

Tabel 4. 6 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Lebar Jalur Atau Jalur Lalu Lintas

Tipe jalan	Lebar jalur lalu lintas efektif (W_c) (m)	FC_{LJ}
4/2T atau Jalan satu-arah	Lebar per lajur; 3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
2/2TT	Lebar jalur 2 arah; 5,00	0,56
	6,00	0,87
	7,00	1,00
	8,00	1,14
	9,00	1,25
	10,00	1,29
	11,00	1,34

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

Dua jalur tak terbagi dan lebih efektif lajur lalu lintas adalah 7 meter maka didapatkan $FC_{LJ} = 1,00 \sim 1$

- FC_{PA} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait pemisah arah, hanya pada jalan tak terbagi

Tabel 4.7 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Pemisah Arah, Hanya Pada Jalan Tak Terbagi

Pemisahan arah PA %-%	50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{PA} 2/2TT	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

dua jalur 2/2 pemisah arah 50-50 maka didapatkan hasil $FC_{PA} = 1,00 \sim 1$

- FC_{HS} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait KHS pada jalan berbahu atau berkereb = KHS : Sedang, Daerah industri dan beberapa toko di sisi jalan
Nilai FC_{HS} : 0,89

Tabel 4.8 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait KHS Pada Jalan Berbahu Atau Berkereb

Tipe jalan	KHS	FC _{HS}			
		Lebar bahu efektif L _{Be} , m			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4/2T	SR	0,96	0,98	1,01	1,03
	R	0,94	0,97	1,00	1,02
	S	0,92	0,95	0,98	1,00
	T	0,88	0,92	0,95	0,98
	ST	0,84	0,88	0,92	0,96
2/2TT atau Jalan satu arah	SR	0,94	0,96	0,99	1,01
	R	0,92	0,94	0,97	1,00
	S	0,89	0,92	0,95	0,98
	T	0,82	0,86	0,90	0,95
	ST	0,73	0,79	0,85	0,91

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 31)

- FC_{UK} = Faktor penyesuaian kapasitas terkait ukuran kota = 0,94

Tabel 4.9 Faktor Penyesuaian Kapasitas Terkait Ukuran Kota

Ukuran kota (Jutaan penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota, (FC _{UK})
< 0,1	0,86
0,1 - 0,5	0,90
0,5 - 1,0	0,94
1,0 - 3,0	1,00
> 3,0	1,04

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 32)

- Jadi kapasitas jalan =

$$C = C_o \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK}$$

$$C = 2900 \times 1 \times 1 \times 0,86 \times 0,94$$

$$C = 2344 \text{ Skr/Jam}$$

2. Perhitungan LHRT untuk rencana (n) 5,10,15,20 Tahun

- Penentuan nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR) Penentuan nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR) untuk merubah data lalu lintas untuk menjadi Satuan Kendaraan (SKR) dengan mengalikan LHR dengan faktor penyesuaian tersebut sesuai dengan kriteria yang digunakan.

Tabel 4.10 Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR) Untuk Jalan 2/2 (TT)

Tipe alinyemen	Arus lalu lintas per arah (kend/jam)	Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR)					
		KBM	BB	TB	SM		
					Lebar Lajur (m)		
			< 6	6 - 8	> 8		
Datar	0	1.2	1.2	1.8	0.8	0.6	0.4
	800	1.8	1.8	2.7	1.2	0.9	0.6
	1350	1.5	1.6	2.5	0.9	0.7	0.5
	≥1900	1.3	1	2.5	0.6	0.5	0.4
Bukit	0	0	1	1.8	0.7	0.5	0.3
	650	2.4	2	5.0	1.0	0.8	0.5
	1100	2.0	2	4.0	0.8	0.6	0.4
	≥1600	1.7	1	3.2	0.5	0.4	0.3
Gunung	0	0	3	2.5	0.6	0.4	0.2
	450	3.0	3	5.5	0.9	0.7	0.4
	900	2.5	2	5.0	0.7	0.5	0.3
	≥1350	1.9	2	4.0	0.5	0.4	0.3

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017:Lampiran G-1)

- Faktor K Untuk merubah satuan dari Skr/Hari ke Skr/Jam

Tabel 4 11 Kondisi Dasar Untuk Menetapkan Kecepatan Arus Bebas Dasar Dan Kapasitas Dasar

No	Uraian	Spesifikasi penyediaan prasarana jalan			
		Jalan Sedang tipe 2/2TT	Jalan Raya tipe 4/2T	Jalan Raya tipe 6/2T	Jalan Satu-arah tipe 1/1, 2/1, 3/1
1	Lebar Jalur lalu lintas, m	7,0	4x3,5	6x3,5	2x3,5
2	Lebar Bahu efektif di kedua sisi, m	1,5	Tanpa bahu, tetapi dilengkapi kereb di kedua sisinya		2,0
3	Jarak terdekat kereb ke penghalang, m	-	2,0	2,0	2,0
4	Median	Tidak ada	Ada, tanpa bukaan	Ada, tanpa bukaan	-
5	Pemisahan arah, %	50-50	50-50	50-50	-
6	Kelas Hambatan Samping	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
7	Ukuran kota, Juta jiwa	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0
8	Tipe alinemen jalan	Datar	Datar	Datar	Datar
9	Komposisi KB:KB:SM	60%:8%:32%	60%:8%:32%	60%:8%:32%	60%:8%:32%
10	Faktor-k	0,08	0,08	0,08	

(Sumber : Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan PKJI 2014/Hal 16)

Contoh perhitungan LHRT untuk rencana (n) 20 tahun

1. Sepeda Motor

$$\begin{aligned} \text{LHRT}_i &= 4329 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.5 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 4329 \times 0.5 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 173.16 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.76 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 173.16 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 691 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

2. Mobil Pribadi

$$\begin{aligned} \text{LHRT}_i &= 1448 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.7 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 1448 \times 0.7 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 81.088 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.77 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 81.088 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 89 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

3. Bus Kecil

$$\begin{aligned} \text{LHRT}_i &= 1405 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.7 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 1405 \times 0.7 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 78.68 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.97 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 78.68 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 106 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

4. Bus Besar

$$\begin{aligned} \text{LHRT } i &= 447 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.8 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times K &= 447 \times 0.8 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 28.608 \text{ skr/jam} \\ R &= 20.69 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 28.608 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 54 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

5. Truk Ringan 2 Sumbu

$$\begin{aligned} \text{LHRT } i &= 1877 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.7 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times K &= 1877 \times 0.7 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 105.112 \text{ skr/jam} \\ R &= 20.82 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 105.112 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 97 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

6. Truk Sedang 2 Sumbu

$$\begin{aligned} \text{LHRT } i &= 399 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.8 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times K &= 399 \times 0.8 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 25.536 \text{ skr/jam} \\ R &= 20.33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 25.536 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 39 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

7. Truk 3 Sumbu

$$\begin{aligned} \text{LHRT i} &= 374 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.8 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 374 \times 0.8 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari smp/hari ke smp/jam)} \\ &= 23.936 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.24 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 23.936 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 57 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

8. Truk gandeng

$$\begin{aligned} \text{LHRT i} &= 5 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.8 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 5 \times 0.8 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 0.32 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.7 \\ \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 0.32 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 0.8 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

9. Truk Semi Trailer

$$\begin{aligned} \text{LHRT i} &= 39 \text{ skr/hari} \\ \text{EKR} &= 0.8 \text{ (Tabel 4.10)} \\ \text{LHRT} \times \text{EKR} \times \text{K} &= 39 \times 0.8 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 2.496 \text{ skr/jam} \\ \text{R} &= 20.39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 2.496 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 9 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

10. Kendaraan Tidak Bermotor

$$\text{LHRT } i = 1711 \text{ skr/hari}$$

$$\text{EKR} = 0.7 \text{ (Tabel 4.10)}$$

$$\begin{aligned} \text{LHRT} \times \text{EKR} \times K &= 1711 \times 0.7 \times 0.08 \text{ (factor k untuk mengubah} \\ &\text{ satuan dari skr/hari ke skr/jam)} \\ &= 95.816 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

$$R = 20.21$$

$$\begin{aligned} \text{LHRT 20 Tahun} &= \text{LHRT} \times (1 + R)^{n-1} \\ &= 95.816 \times (1 + 0.20)^{20-1} \\ &= 306 \text{ skr/jam} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan umur rencana 5, 10, dan 15 Tahun dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 4.12 Lalu Lintas Harian Skr/Jam (Umur Rencana 5 Tahun)

JENIS KENDARAAN	LHRT (skr/hari)	EKR	LHRT x EKR x 0.08 (skr/hari ke skr/jam)	R	N	LHRT 10 Tahun (skr/jam)
Sepeda motor	4329	0.5	173.16	0.05	5	204
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448	0.7	81.088	0.05	5	95
bus kecil	1405	0.7	78.68	0.05	5	93
bus besar	447	0.8	28.608	0.05	5	34
truk ringan 2 sumbu	1877	0.7	105.112	0.05	5	124
truk sedang 2 sumbu	399	0.8	25.536	0.05	5	30
truk 3 sumbu	374	0.8	23.936	0.05	5	28
truk gandeng	5	0.8	0.32	0.05	5	0.37
truk semi trailer	39	0.8	2.496	0.05	5	3
kendaraan tidak bermotor	1711	0.7	95.816	0.05	5	113
JUMLAH			614.752			724

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.13 Lalu Lintas Harian Skr/Jam (Umur Rencana 10 Tahun)

JENIS KENDARAAN	LHRT (skr/hari)	EKR	LHRT x EKR x 0.08 (skr/hari ke skr/jam)	R	N	LHRT 10 Tahun (skr/jam)
Sepeda motor	4329	0.5	173.16	0.10	10	215
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448	0.7	81.088	0.10	10	101
bus kecil	1405	0.7	78.68	0.10	10	98
bus besar	447	0.8	28.608	0.10	10	36
truk ringan 2 sumbu	1877	0.7	105.112	0.10	10	131
truk sedang 2 sumbu	399	0.8	25.536	0.10	10	32
truk 3 sumbu	374	0.8	23.936	0.10	10	30
truk gandeng	5	0.8	0.32	0.10	10	0.39
truk semi trailer	39	0.8	2.496	0.10	10	4
kendaraan tidak bermotor	1711	0.7	95.816	0.10	10	119
JUMLAH			614.752			766

*(Sumber : Hasil Perhitungan)***Tabel 4.14** Lalu Lintas Harian Skr/Jam (Umur Rencana 15 Tahun)

JENIS KENDARAAN	LHRT (skr/hari)	EKR	LHRT x EKR x 0.08 (skr/hari ke skr/jam)	R	N	LHRT 10 Tahun (skr/jam)
Sepeda motor	4329	0.5	173.16	0.15	15	255
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448	0.7	81.088	0.15	15	120
bus kecil	1405	0.7	78.68	0.15	15	116
bus besar	447	0.8	28.608	0.15	15	42
truk ringan 2 sumbu	1877	0.7	105.112	0.15	15	155
truk sedang 2 sumbu	399	0.8	25.536	0.15	15	38
truk 3 sumbu	374	0.8	23.936	0.15	15	36
truk gandeng	5	0.8	0.32	0.15	15	0.47
truk semi trailer	39	0.8	2.496	0.15	15	4
kendaraan tidak bermotor	1711	0.7	95.816	0.15	15	143
JUMLAH			614.752			909

(Sumber : Hasil Perhitungan)

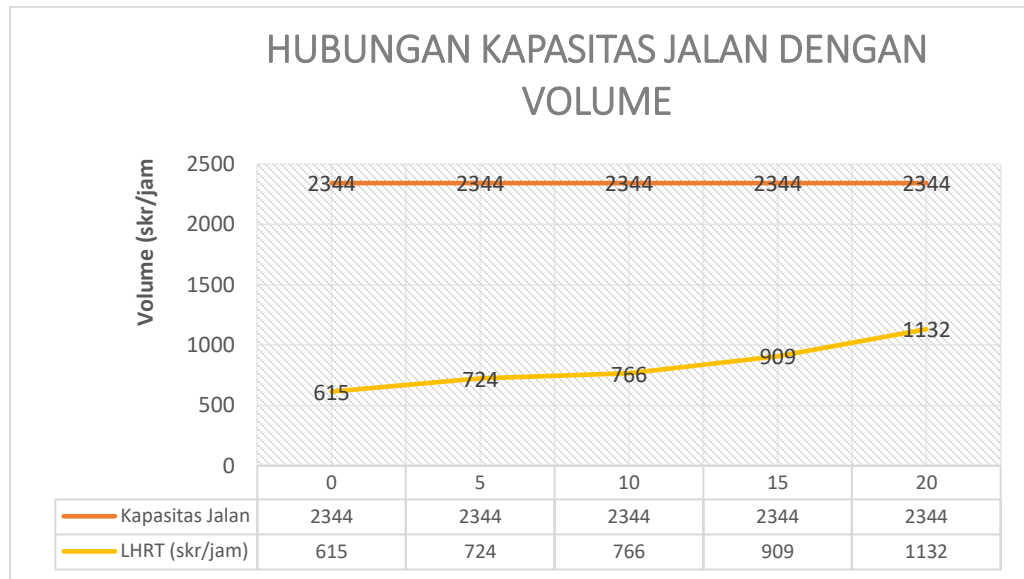
Tabel 4.15 Lalu Lintas Harian Skr/Jam (Umur Rencana 20 Tahun)

JENIS KENDARAAN	LHRT (skr/hari)	EKR	LHRT x EKR x 0.08 (skr/hari ke skr/jam)	R	N	LHRT 10 Tahun (skr/jam)
Sepeda motor	4329	0.5	173.16	0.20	20	319
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448	0.7	81.088	0.20	20	149
bus kecil	1405	0.7	78.68	0.20	20	145
bus besar	447	0.8	28.608	0.20	20	53
truk ringan 2 sumbu	1877	0.7	105.112	0.20	20	193
truk sedang 2 sumbu	399	0.8	25.536	0.20	20	47
truk 3 sumbu	374	0.8	23.936	0.20	20	44
truk gandeng	5	0.8	0.32	0.20	20	0.59
truk semi trailer	39	0.8	2.496	0.20	20	5
kendaraan tidak bermotor	1711	0.7	95.816	0.20	20	176
JUMLAH			614.752			1132

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan LHRT Pada Umur Rencana 5,10,15,20 Tahun

Tahun	Kapasitas Jalan (C)	LHRT (skr/jam)	Q/C
0	2344	615	0.262
5	2344	724	0.308
10	2344	766	0.326
15	2344	909	0.387
20	2344	1132	0.482



Gambar 4.2 Grafik Kapasitas Jalan Dengan Volume

3. Faktor distribusi lajur (DL)

Factor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 4.17 berdasarkan jumlah lajur pada Ruas Surakarta. Jalan ini memiliki 2 lajur maka DL yang dipakai adalah 80%

Tabel 4.17 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 : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017:4-3)

4. Faktor distribusi arah (DD)

Ruas Surakarta – Sukoharjo merupakan jalan dua arah yaitu factor distribusi (DD) Umumnya diambil 0,05. ketentuan ini berdasarkan Metode Bina Marga 2017.

5. Menentukan factor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*)

Untuk menghitung faktor kerusakan jalan atau yang biasa disebut dengan vehicle damage factor (VDF) perlu diperoleh gambaran tentang beban sumbu kendaraan dan konfigurasi sumbu kendaraan yang ada. Pada manual desain

perkerasan lentur 2017, VDF dibedakan menjadi VDF4 dan VDF5 sehingga nantinya akan membedakan hasil beban sumbu standar kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL) menjadi CESAL4 dan CESAL5. CESAL4 digunakan untuk menentukan pemilihan jenis perkerasan sedangkan CESAL5 digunakan untuk menentukan tebal perkerasan lentur berdasarkan bagan desain yang disediakan manual desain perkerasan jalan lentur 2017. Untuk menentukan nilai VDF dapat diklarifikasi berdasarkan jenis kendaraan.

6. Menghitung beban standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESA)

CESA merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, ditentukan dengan :

$$CESA_4 = (\sum LHR_{JK} \times VDF_4) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$CESA_5 = (\sum LHR_{JK} \times VDF_5) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Contoh untuk mencari ESA dan CESA jenis truk gandeng untuk umur rencana 5 tahun

$$\begin{aligned} CESA_4 &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_4) \times 365 \times DD \times DL \times R \\ &= (2793 \times 0.3) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10.990 \\ &= 1344444 \text{ Esa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CESA_5 &= (\sum LHR_{JK} \times VDF_5) \times 365 \times DD \times DL \times R \\ &= (2793 \times 0.2) \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 10.990 \\ &= 896296 \text{ Esa} \end{aligned}$$

Perhitungan $CESA_4$ dan $CESA_5$ untuk setiap kendaraan dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.18 Nilai Cesa4 Dan Cesa5 Umur Rencana 5 Tahun

JENIS KENDARAAN	LHR (skr/hari)	VDF4	VDF5	R	CESA4 (esa)	CESA5 (esa)
Sepeda motor	4329			0.05		
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448			0.05		
bus kecil	1405	0.3	0.2	0.05	6116.67	4077.78
bus besar	447	1	1	0.05	16198.7	16198.7
truk ringan 2 sumbu	1877	0.55	0.55	0.05	3047.385	3047.385
truk sedang 2 sumbu	399	4	5.1	0.05	39974.8	50967.87
truk 3 sumbu	374	7.6	11.2	0.05	239118.8	352385.6
truk gandeng	5			0.05		
truk semi trailer	39			0.05		
kendaraan tidak bermotor	1711			0.05		
JUMLAH					304456.355	426677.335

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.19 Nilai Cesa4 Dan Cesa5 Umur Rencana 10 Tahun

JENIS KENDARAAN	LHR (skr/hari)	VDF4	VDF5	R	CESA4 (esa)	CESA5 (esa)
Sepeda motor	4329			0.10		
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448			0.10		
bus kecil	1405	0.3	0.2	0.10	12233.34	8155.56
bus besar	447	0.3	1	0.10	32397.4	32397.4
truk ringan 2 sumbu	1877	0.55	0.55	0.10	6094.77	6094.77
truk sedang 2 sumbu	339	4	5.1	0.10	79949.6	101933.74
truk 3 sumbu	374	7.6	11.2	0.10	478237.6	704771.2
truk gandeng	5			0.10		
truk semi trailer	39			0.10		
kendaraan tidak bermotor	1711			0.10		
JUMLAH					608912.71	853354.67

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.20 Nilai Cesa4 Dan Cesa5 Umur Rencana 20 Tahun

JENIS KENDARAAN	LHR (skr/hari)	VDF4	VDF5	R	CESA4 (esa)	CESA5 (esa)
Sepeda motor	4329			0.20		
mobil pribadi/ pick up/ box kecil	1448			0.20		
bus kecil	1405	0.3	0.2	0.20	2565331.398	1710220.932
bus besar	447	0.3	1	0.20	6703022.06	6703022.06
truk ringan 2 sumbu	1877	0.55	0.55	0.20	1268931.114	1268931.114
truk sedang 2 sumbu	399	4	5.1	0.20	16253753.68	20723535.94
truk 3 sumbu	374	7.6	11.2	0.20	96317052.64	141940919.7
truk gandeng	5			0.20		
truk semi trailer	39			0.20		
kendaraan tidak bermotor	1711			0.20		
JUMLAH					123108090	172346629

4.3.3 Perhitungan California Bearing Ratio (CBR)

Tabel 4.21 Nilai CBR Ruas Surakarta

STA	CBR %	STA	CBR %
0+000	7.50	1+800	6.92
0+400	6.30	2+200	5.01
0+800	7.00	2+400	7.37
1+000	8.80	2+600	7.92
1+400	6.80	2+800	7.87

(Sumber : DPUPR. Surakarta. 2023)

Dari tabel diatas dapat dihitung nilai CBR_{Segmen} dengan cara analistis, dihitung dengan rumus :

$$CBR_{Segmen} = CBR \text{ Rata-Rata} - \frac{CBR_{max} - CBR_{min}}{R}$$

$$CBR \text{ Rata Rata} = 7.50 + 6.30 + 7.00 + 8.80 + 6.80 + 6.92 + 5.01 + 7.37 + 7.92 +$$

$$7.87 / 10$$

$$= 7.158 \%$$

$$CBR \text{ Max} = 8.80 \%$$

$$CBR \text{ Min} = 5.01 \%$$

R = 3.18 (Ada 10 Titik Pengamatan)

$$CBR_{Segmen} = 7.158 - \frac{8.80 - 5.01}{5.18} = 6.426 \%$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil CBR Segmen = 6.426 %

4.3.4 Menentukan Pondasi Minimum

Dari perhitungan CBR_{Segmen} dapat CBR per segmen untuk menentukan tebal pondasi jalan yang akan direncanakan. Menentukan tebal pondasi jalan dengan menggunakan tabel 4.22

Tabel 4.22 Desain Pondasi Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana 40 tahun (Juta ESAS)			stabilitas semen
			< 2	2 - 4	>4	
tebal minimum perbaikan tanah dasar						
≥6	SG6	perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilitas	tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5	semen atau berupa	-	-	100	
4	SG4	material timbunan pilihan	100	150	200	
3	SG3	(sesuai persyaratan spesifikasi umum devinisi	150	200	300	
2.5	SG2.5	3-perkerjaan tanah) (pemadatan lapisan <200 mm tebal gembur)	175	250	350	
Tanah ekspansif (Potensi Pemuai >5%)		Lapis Penompang atau lapis penompang dan geogrid	400	500	600	berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
perkerasan diatas tanah lunak	SGI		1000	1100	1200	
tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku		lapis penompang berbutur	1000	1250	1500	

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017 Hal 6-12)

Menentukan pondasi jalan minimum dengan perhitungan CBR_{Desain} yaitu :

$CBR_{segment}$ rencana : 6.426 %

Pada Bagan 2 – Desain Pondasi Jalan Minimum dengan $CBR_{segment}$ rencana = 6.426 % dan beban lalu lintas rencana < 2 juta ESA5 dengan kelas kekuatan tanah dasar SG6 dengan menggunakan perkerasan lentur tidak diperlukan perbaikan tanah.

4.3.5 Menentukan Tipe Perkerasan

Untuk menentukan tipe perkerasan (analisis *discounted whole of life costs*) dapat dilihat pada tabel 4.23 pemilihan jenis perkerasan dilihat dari perhitungan yaitu :

Umur Rencana = 20 Tahun

CESA4 = 123.108.090 Esa

CESA5 = 172.346.629 Esa

Jadi dalam tabel 4.23 ESA 20 Tahun pangkat 4 diantara 4> juta ESA^4 menggunakan jenis perkerasan sebagai berikut :

Tabel 4.23 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	> 30 – 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat(diatas tanah dasar dengan CBR $\geq 2,5$ %)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah perdesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRD tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau bantuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, Jalan Kerikil)	7	1	-	-	-	-
Catatan : Tingkat kesulitan : <ol style="list-style-type: none"> 1. Kontraktor kecil – Medium 2. Kontraktor besar atau dengan sumber daya yang memadai 3. Kontraktor spesialis burtu/burda 						

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017 Hal 1-3)

Jadi dalam Tabel 4.17, ESA dalam 20 tahun pangkat 4 di antara 0,1 - 4 juta ESA4. Dari solusi yang diberikan, digunakan :

Tipe Perkerasan : AC WC Modifikasi

Alasan Penggunaan :

1. Cocok untuk umur rencana 20 Tahun
2. Cocok diterapkan di Indonesia yang memiliki karakter muatan berlebih
3. Bahan pengikat mampu meningkatkan umur pelayanan, dan umur fatigue, serta ketahanan deformasi akibat LL berlebih

4.3.6 Menentukan Struktur Perkerasan

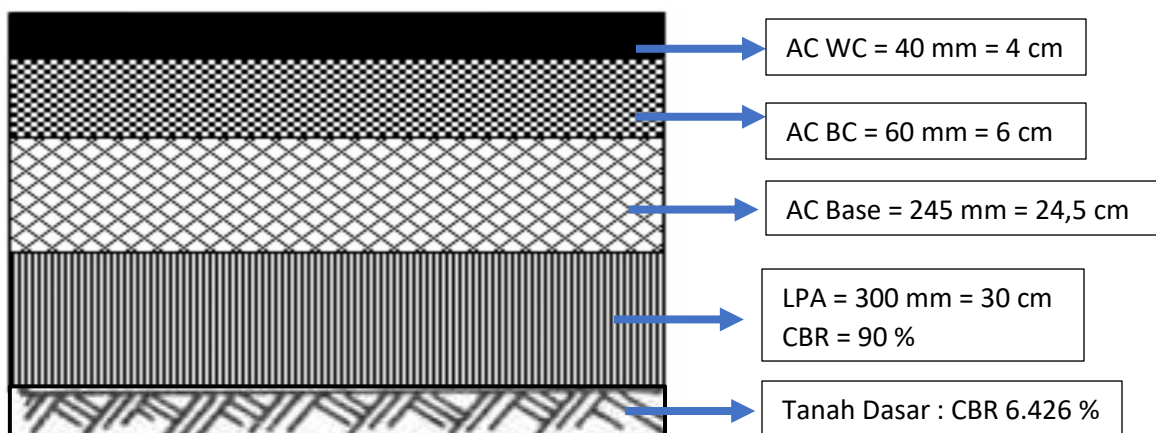
Tabel 4.24 Bagan Desain – 3B Desain Perkerasan Lentur – aspal dengan lapisan pondasi berbutir (Sebagai Alternatif dari Bagan Desain – 3 dan 3A)

	Struktur Perkerasan								
	FFD1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi Yang Dipilih					Lihat Catatan 2				
kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (106 ESA5)	<2	≥2 -4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200
Ketebalan Lapis Perkerasan									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
ACBC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ACBase	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

(Sumber : Bina Marga MDPJ No. 04/SE/Db/2017,2017)

1. tebal perkerasan yang didapatkan untuk umur rencana 20 tahun yaitu

- ACWC = 40 mm
- ACBC = 60 mm
- AC Base = 245 mm
- LPA Kelas A = 300 mm



Gambar 4.3 Susunan Lapisan Perkerasan lentur (20 Tahun)

4.4 Analisa Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku

4.4.1 Analisa Lalu Lintas

Berdasarkan data-data yang diketahui, bisa direncanakan sebuah perencanaan perkerasan jalan menggunakan perkerasan kaku pada Ruas Surakarta, dengan kriteria sebagai berikut:

Tahun awal umur rencana : 2022

Tahun akhir umur rencana : 20 tahun (2042)

Dengan mengetahui volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) tahun 2022 serta nilai pertumbuhan lalu lintas (i), maka akan didapatkan nilai LHR awal tahun jalan dibuka serta LHR pada akhir umur rencana, seperti yang terlihat pada **Tabel 4.2**

Aanalisa Jumlah Sumbu Kendaraan

Setelah mendapatkan lalu lintas harian rata-rata, selanjutnya menghitung jumlah sumbu kendaraan berdasarkan jenis kendaraan dan bebannya

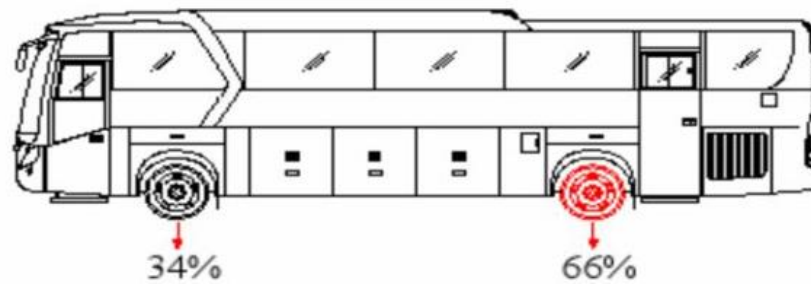
4.4.2 Menentukan Konfigurasi dan Distribusi Beban Sumbu Kendaraan

langkah pertama yang harus dilakukan untuk menghitung jumlah sumbu kendaraan niaga adalah membagi jenis sumbu roda depan dan roda belakang untuk masing – masing kendaraan. Untuk perencanaan tebal perkerasan kaku minimal berat yang ditentukan dalam mencari jumlah sumbu kendaraan niaga sebesar > 5 ton.

Maka perhitungan sebagai berikut :

1. Bus kecil

Kendaraan dengan muatan maksimum 6 ton maka distribusi beban rodanya digambarkan sebagai berikut :



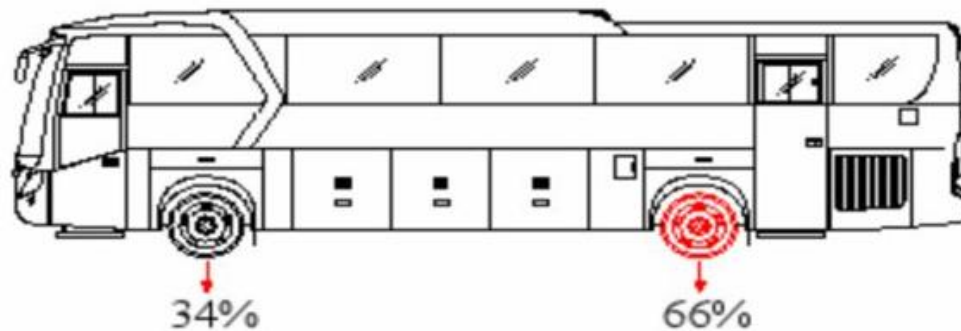
Gambar 4.4 Bus Kecil

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = $34\% \times 6 \text{ ton}$
= 2 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = $66\% \times 6 \text{ ton}$
= 4 ton

2. Bus Besar

Kendaraan dengan muatan maksimum 9 ton maka distribusi beban kendaraan rodanya digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.5 Bus Besar

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = $34\% \times 9 \text{ ton}$
= 4 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = $66\% \times 9 \text{ ton}$
= 5 ton

3. Truk Kecil

Kendaraan dengan muatan maksimum 8.3 ton maka distribusi beban kendaraan rodanya digambarkan sebagai berikut :



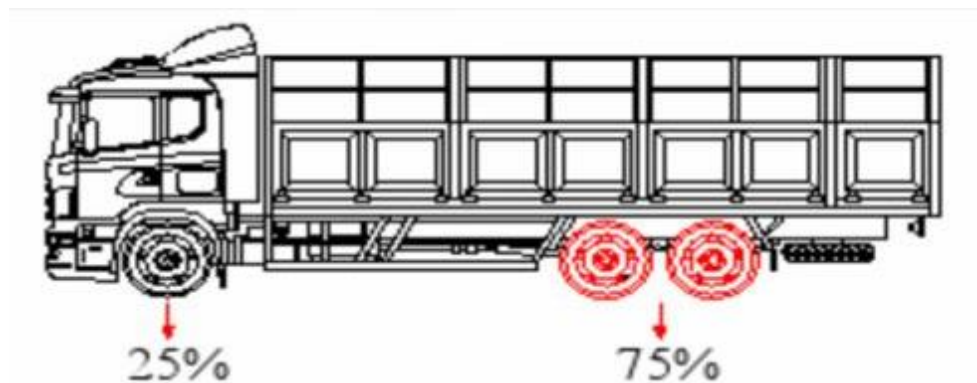
Gambar 4.6 Truk Kecil

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = $34\% \times 8.3 \text{ ton}$
= 3 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = $66\% \times 8.3 \text{ ton}$
= 5.3 ton

4. Truk 3 As

Kendaraan dengan muatan maksimum 25 ton maka distribusi beban kendaraan rodanya digambarkan sebagai berikut :



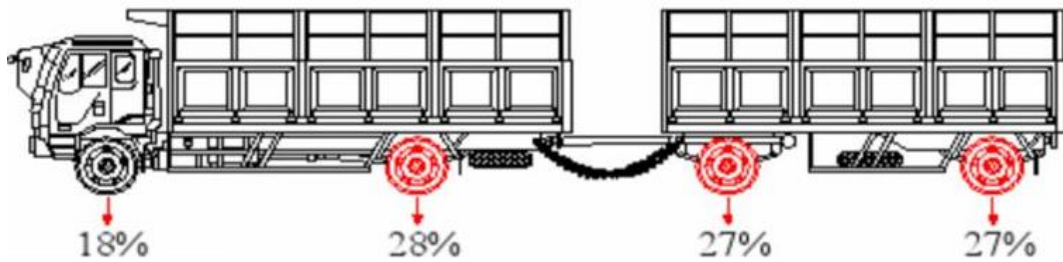
Gambar 4.7 Truk 3 As

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = $25\% \times 25 \text{ ton}$
= 7 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = $75\% \times 25 \text{ ton}$
= 18 ton

5. Truk Gandeng

Kendaraan dengan muatan maksimum 31.4 ton maka distribusi beban kendaraan rodanya digambarkan sebagai berikut :



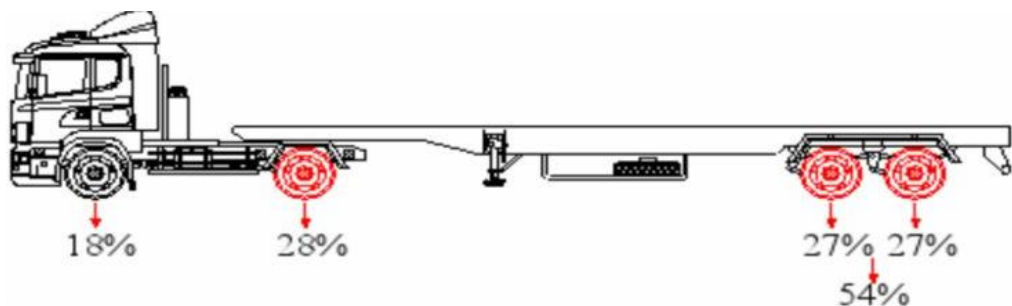
Gambar 4.8 Truk Gandeng

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = $18\% \times 31.4 \text{ ton}$
= 6 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = $82\% \times 31.4 \text{ ton}$
= 25.4 ton

6. Trailer

Kendaraan dengan muatan maksimum 42 ton maka distribusi beban kendaraan rodanya digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.9 Trailer

Maka dapat dihitung sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT) = 18% x 42 ton
= 7 ton
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG) = 28% x 42 ton
= 12 ton
- Sumbu ganda roda ganda (STdRG) = 54% x 42 ton
= 23 ton

4.4.3 Perhitungan Faktor Pertumbuhan Lalu – Lintas (R)

Sebelum menghitung nilai Jumlah Kendaraan Niaga (JKN) selama Umur Rencana, diperlukan data R. Dimana R adalah faktor pertumbuhan lalu lintas yang besarnya tergantung pada faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) dan umur rencana (n). Apabila pertumbuhan lalu lintas tahunan selama umur rencana tetap, maka R dihitung dengan cara sebagai berikut :

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

Dengan Pengertian :

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %

UR : Umur rencana (Tahun)

Maka dari rumus diatas didapatkan nilai R sebagai berikut :

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

$$R = \frac{(1+5\%)^{20}-1}{5\%}$$

$$R = 33,07$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

sebesar : 33,07

4.4.4 Menentukan Konfigurasi Distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari satu ruas jalan raya yang mempunyai lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai tabel 4.25.

Tabel 4.25 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan & Konfigurasi Distribusi

lebar perkerasan (Lp)	Jumlah lajur (n)	konfigurasi distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \leq L_p < 8,25$ m	2 lajur	0.70	0.50
$8,25 \leq L_p < 11,25$ m	3 lajur	0.50	0.475
$11,23 \leq L_p < 15,00$ m	4 lajur	-	0.45
$15,00 \leq L_p < 18,75$ m	5 lajur	-	0.425
$18,75 \leq L_p < 22,00$ m	6 lajur	-	0.40

(Sumber : DPU, Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003)

Dari tabel diatas dapat diketahui dengan lebar perencanaan jalan Ruas Surakarta dengan lebar 7 m, maka nilai koefisien distribusi (C) sebesar : 0,50.

4.4.5 Perhitungan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Rencana

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

$$JKSN = JSKNH \times 365 \times R \times C$$

Dengan pengertian :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

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

R : Faktor pertumbuhan kumulatif, yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana

C : Koefisien distribusi kendaraan

Tabel 4.26 Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian (JSKNH)

jenis kendaraan	Volume	konfigurasi & distribusi				Sumbu	JSKNH	STRT		STRG		STdRG	
		beban sumbu (ton)						/ken	BS	JS	BS	JS	BS
	(ken/hari)	RD	RB	RDG	RGB								
1	2	3				4	5	6		7		8	
Mobil Penumpang	1448	1	1	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-
Bus Besar	447	3	5	-	-	2	894	3	447	5	447	-	-
Truk Kecil	399	2	4	-	-	2	798	2	399	-	-	-	-
								4	399	-	-	-	-
Truk 3 As	374	5	8	-	-	2	748	5	374	8	374	-	-
Truk Gandeng	5	6	14	-	-	2	10	6	5	-	-	14	5
Triler	39	6	14	5	5	4	156	6	39	-	-	14	39
								5	39	-	-	-	-
								5	39	-	-	-	-
TOTAL							2606		1741		821		44

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Menghitung jumlah kendaraan niaga (JKN) selama umur rencana (n, tahun) dapat dilakukan dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{JKN} &= \text{JSKNH} \times 365 \times R \times C \\
 &= 2606 \times 365 \times 33.07 \times 0.50 \\
 &= 15.727.926,7
 \end{aligned}$$

4.4.6 Perhitungan Repetisi Sumbu Yang Terjadi

Tabel 4. 27 Perhitungan Repetisi Sumbu Yang Terjadi

Jenis Sumbu	Beban sumbu (ton)	jumlah sumbu	proporsi beban	proporsi sumbu	lalu lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
1	2	3	4	5	6	7 = 4x5x6
STRT	6	44	0.025	0.668	15727926.65	265552.1
	5	452	0.260	0.668	15727926.65	2727944.3
	4	399	0.229	0.668	15727926.65	2408074.725
	3	447	0.257	0.668	15727926.65	2697767.925
	2	399	0.229	0.668	15727926.65	2408074.725
Total		1741				
STRG	8	374	0.456	0.315	15727926.65	2257192.85
	5	447	0.544	0.315	15727926.65	2697767.925
Total		821				
STdRG	14	44	1.00	0.017	15727926.65	265552.1
Total		44				
Kumulatif						15727926.65

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Jumlah repetisi yang terjadi pada setiap beban persumbu yang dapat digunakan untuk perhitungan analisa fatik dan erosi. analisis fatik dan erosi berdasarkan perhitungan beban rencana per roda, faktor tegangan dan erosi, repetisi ijin fatik dan erosi. Persen rusak fatik dan erosi diperoleh dari hasil pembagian repetisi yang terjadi dengan repetisi ijin dan dikalikan dengan 100%. Hasil dari persen rusak fatik dan erosi pada masing-masing sumbu diakumulasi. Apabila total persen rusak fatik dan erosi > 100%, maka dihitung ulang dengan mempertebal pelat beton perkerasan sedangkan apabila persentase rusak fatik dan erosi ≤ 100%, maka dapat digunakan sebagai tebal pelat beton perkerasan. Serta didapatkan jumlah repetisi yang terjadi sebesar 15.727.926,65 dapat dilihat pada **Tabel 4.27**.

4.4.7 Perhitungan Tebal Plat Beton

Pada perencanaan Ruas Surakarta Kota Solo akan digunakan beton dengan kuat tekan 28 hari sebesar $K-300 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$, maka mutu beton data ditentukan rumus sebagai berikut :

Dengan nilai $K = 0,75$ (Agregat Pecah), $1 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$

1. $f_{c'} = 300 \text{ Kg}/\text{Cm}^2 \times 0.098$
 $= 29,4 \sim 30 \text{ Mpa}$
2. $f_{cf} = k \times (f_{c'})^{0,50}$
 $= 0,75 \times (30)^{0,50}$
 $= 4,11 \text{ Mpa}$

didapatkan nilai mutu beton pada perencanaan Ruas Surakarta sebesar : 4,11 Mpa

$f_{c'}$ = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

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

k = Konstanta 0,7 agregat tidak pecah dan 0,75 agregat pecah

4.4.8 Menentukan Faktor Keamanan

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada tabel 4.21

Tabel 4.28 Faktor Keamanan Beban (FKB)

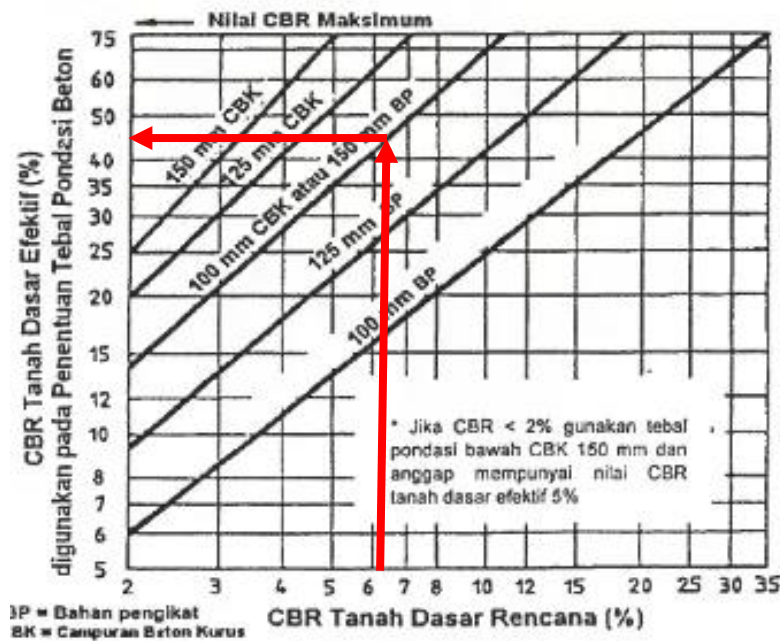
No.	Penggunaan	Nilai FKB
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintasnya dari hasil survei beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route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

(Sumber : DPU, Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003)

Sesuai dengan fungsi jalan yang direncanakan yaitu jalan arteri perkotaan beton dengan volume kendaraan niaga menengah maka dipilih faktor keamanan beban (FKB) sebesar 1,1

4.4.9 Menentukan Tebal Pondasi Bawah Dan CBR Tanah Dasar Efektif

Dengan mengacu pada nilai CBR Segmen yang sebesar 6.426% maka didapatkan nilai CBR efektif guna menentukan tebal perkerasan kaku dengan tebal pondasi 150 mm BP pada gambar 4.10



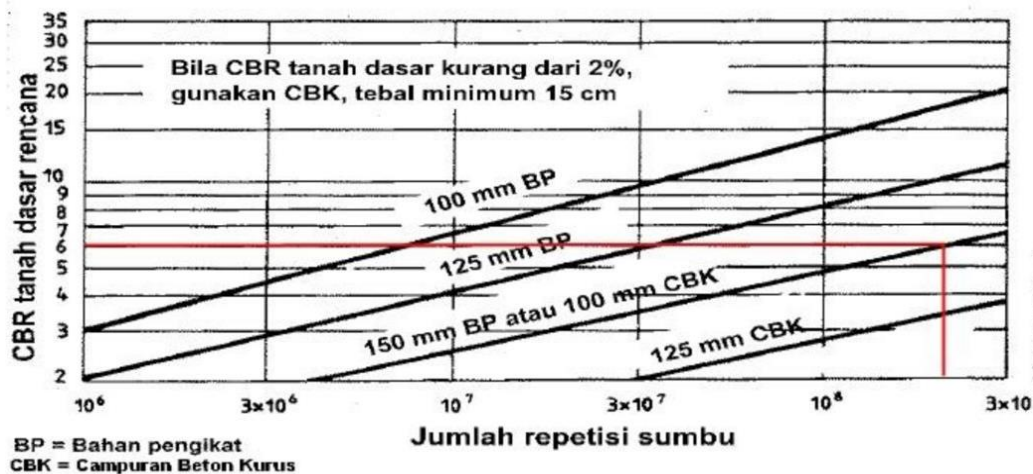
Gambar 4.10 CBR Tanah Dasar Efektif & Tebal Pondasi Bawah

Gambar diatas merupakan gambar grafik untuk menentukan CBR tanah dasar efektif dan tebal lapisan pondasi. Berikut untuk menentukan CBR tanah dasar rencana :

1. Menarik garis ke atas dari CBR tanah dasar yang telah diketahui yaitu sebesar 6.426% sampai memotong garis tebal pondasi 150mm BP
2. Menarik garis perpotongan ke CBR tanah dasar efektif
3. Mencari hasil CBR tanah dasar efektif yaitu 46%.

4.4.10 Lapis Pondasi Bawah (Subbase)

Berdasarkan Gambar 4.11 didapatkan hubungan nilai CBR tanah dasar (subgrade) dengan tebal lapisan pondasi bawah (subbase) menggunakan lean mix concrete (LMC) atau campuran beton kurus (CBK). Dari gambar tersebut didapat tebal 100 mm atau 10 cm. Adapun dalam perencanaan ini, jenis dan spesifikasi material pondasi bawah (subbase) menggunakan lean mix concrete (LMC) atau campuran beton kurus (CBK) mutu beton K-300 dengan tebal 10 cm.



Gambar 4.11 Tebal Pondasi Bawah Minimum Untuk Perkeasan Beton Semen

4.4.11 Menentukan Taksiran Tebal Plat Beton

Penentuan tebal rencana dengan menghubungkan nilai CBR efektif dengan perkiraan tebal perkerasan beton. Dalam Pedoman Bina Marga 2017, hanya terdapat CBR efektif sebesar 35% dan 50% untuk mendapatkan nilai tahanan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE). Karena dalam perhitungan ini didapatkan nilai CBR 42 % maka penentuan TE dan FE dilakukan dengan cara interpolasi. Setelah didapatkan nilai TE dan FE, selanjutnya adalah melakukan taksiran ketebalan beton sampai didapatkan ketebalan yang sesuai.

Tabel 4.29 Tegangan Ekivalen Dan Faktor Erosi Dengan Ruji

(mm)	CBR Efektif	STRT	STRG	STdRG	STRT	STRG	STdRG
150	5	1,42	2,26	1,81	2,14	2,78	2,81
	10	1,36	2,04	1,7	2,13	2,73	2,75
	15	1,33	1,98	1,65	2,12	2,7	2,72
	20	1,32	1,94	1,62	2,11	2,69	2,7
	25	1,3	1,9	1,59	2,7	2,67	2,67
	35	1,27	1,82	1,53	2,08	2,64	2,63
	50	1,23	1,74	1,49	2,08	2,6	2,59
	75	1,2	1,85	1,43	2,04	2,57	2,59
160	5	1,29	1,98	1,67	2,06	2,66	2,72
	10	1,24	1,87	1,56	2,04	2,64	2,67
	15	1,21	1,82	1,51	2,04	2,64	2,64
	20	1,2	1,79	1,49	2,03	2,63	2,62
	25	1,18	1,75	1,46	2,02	2,62	2,6
	35	1,15	1,67	1,41	2	2,61	2,56
	50	1,12	1,6	1,36	1,98	2,59	2,53
	75	1,1	1,52	1,3	1,97	2,57	2,5
170	5	1,17	1,83	1,55	1,99	2,59	2,66
	10	1,13	1,73	1,45	1,97	2,57	2,61
	15	1,11	1,68	1,4	1,96	2,57	2,58
	20	1,1	1,65	1,38	1,95	2,56	2,57
	25	1,08	1,62	1,35	1,95	2,55	2,55
	35	1,05	1,55	1,3	1,94	2,53	2,51
	50	1,03	1,49	1,25	1,91	2,51	2,47
	75	1,02	1,41	1,19	1,89	2,49	2,43
180	5	1,07	1,7	1,44	1,92	2,52	2,61
	10	1,03	1,6	1,35	1,9	2,5	2,56
	15	1,01	1,55	1,3	1,89	2,5	2,53
	20	1,01	1,53	1,28	1,88	2,49	2,51
	25	1	1,5	1,25	1,88	2,48	2,49
	35	0,98	1,44	1,2	1,87	2,46	2,45
	50	0,95	1,38	1,16	1,84	2,44	2,42
	75	0,94	1,31	1,1	1,82	2,42	2,36

(Sumber : Pd T-14-2003)

4.4.12 Analisa Fatik Dan Erosi

Setelah mendapatkan nilai tegangan ekuivalen dan faktor erosi dengan cara interpolasi, tahapan selanjut menghitung persen kerusakan yang terjadi diakibatkan fatik dan erosi. Dalam analisa fatik dan erosi memiliki persyaratan yang harus dipenuhi, agar mendapatkan tebal perkerasan yang tertipis namun memenuhi persyaratan. Seperti menganalisa fatik dan erosi yang terjadi pada ketebalan perkerasan 15 cm dan mendapatkan hasil 885.173% kerusakan, sehingga tidak memenuhi persyaratan karena persen kerusakan $\leq 100\%$.

Tabel 4.30 Perhitungan Kekuatan Plat 15 Cm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu		Beban Rencana/ Roda (kN)	Repetisi Yang Terjadi	Faktor Tegangan Dan Erosi		Analisa Fatik		Analisa Erosi	
	Ton	(kN)			Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)		
a	B		C	d	e		F	$g = \frac{g}{d/f*100\%}$	h	$i = \frac{i}{d/h*100\%}$
STRT	6	60	33	265552.1	TE	1.251	2.000.000	885.173	TT	0
	5	50	27.5	2727944.3	FRT	0.313	TT	0	TT	0
	4	40	22	2408074.725	FE	2.08	TT	0	TT	0
	3	30	16.5	2697767.925			TT	0	TT	0
	2	20	11	2408074.725			TT	0	TT	0
STRG	8	80	22	2257192.85	TE	1.26	TT	0	100.000	2257.192
	5	50	13.75	26977667.93	FRT	0.315	TT	0	TT	0
					FE	2.68				
STdRG	14	140	19.25	265552.1	TE	1.51	TT	0	TT	0
					FRT	0.378				
					TE	2.62				
Konfigurasi							100% < 885.173		100% < 2257.192	

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

TT = Tidak Terbatas

TE = Tegangan Ekuivalen

FE = Faktor Erosi

FRT = Faktor Erosi Tegangan

Didapatkan dari tegangan ekuivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu (f'_{cf})

Contoh Perhitungan :

$$FRT = TE/f'cf$$

$$FRT \text{ STRT} = 1.27/4.11 = 0.32$$

Penjelasan tabel 4.30

1. Kolom a : jenis sumbu kendaraan

2. Kolom b : beban sumbu (KN)

Mengelompokkan beban sumbu setiap kendaraan sesuai jenis sambunya (STRT,STRG,STdRG) yang satuannya dikonfersikan terlebih dahulu dari Kg menjadi KN.

3. Kolom c : beban rencana per roda

Didapatkan dengan mengalikan beban sumbu dengan faktor keamanan beban (FKB), Selanjutnya dibagi dengan jumlah roda yang mempunyai sesuai dengan jenis sambunya.

Contoh Perhitungan :

$$STRT = \left(\frac{20 \times 1.1}{2} \right) = 11$$

4. Kolom d : repetisi yang terjadi

Didapatkan dari nilai repetisi yang sebelumnya pada tabel 4.21

5. Kolom e : faktor tegangan erosi

Tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE), sedangkan faktor erosi tegangan (FRT) didapatkan dari tegangan ekivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu beton

6. Kolom f : analisa fatik (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisan fatik dan repetisi beban ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan atau tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

7. Kolom g : analisan fatik (presentasi rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan analisa fatik (repetisi ijin) (kolom f) dan dikalikan 100%.

8. Kolom h : analisa erosi (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisa erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

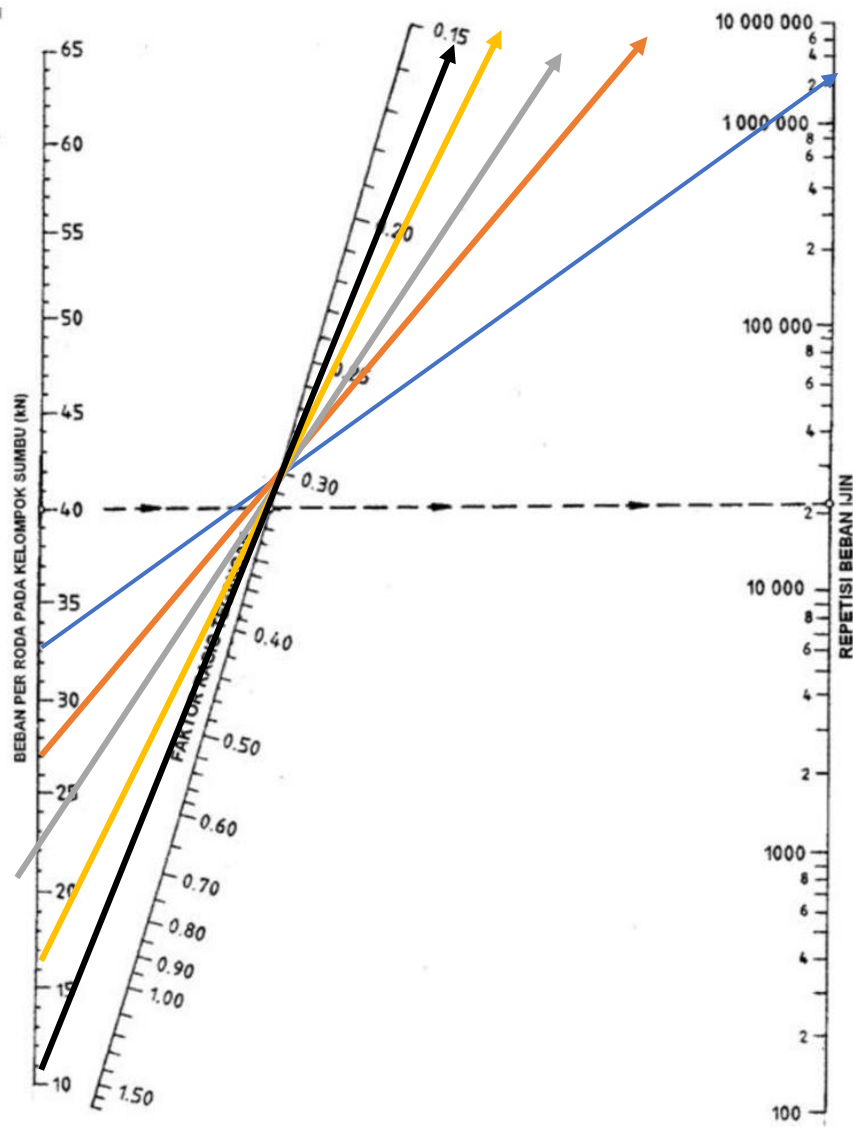
9. Kolom i : analisan erosi (presentase rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan n analisa erosi (repetisi ijin) (kolom h) dan dikalikan 100%.

Grafik untuk mencari Analisa fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan ratio tegangan, dengan/tanpa bahu beton untuk tebal 150 mm pada tabel 4.30 dapat dilihat pada gambar 4.13

Analisa Fatik STRT (FRT : 0.313)

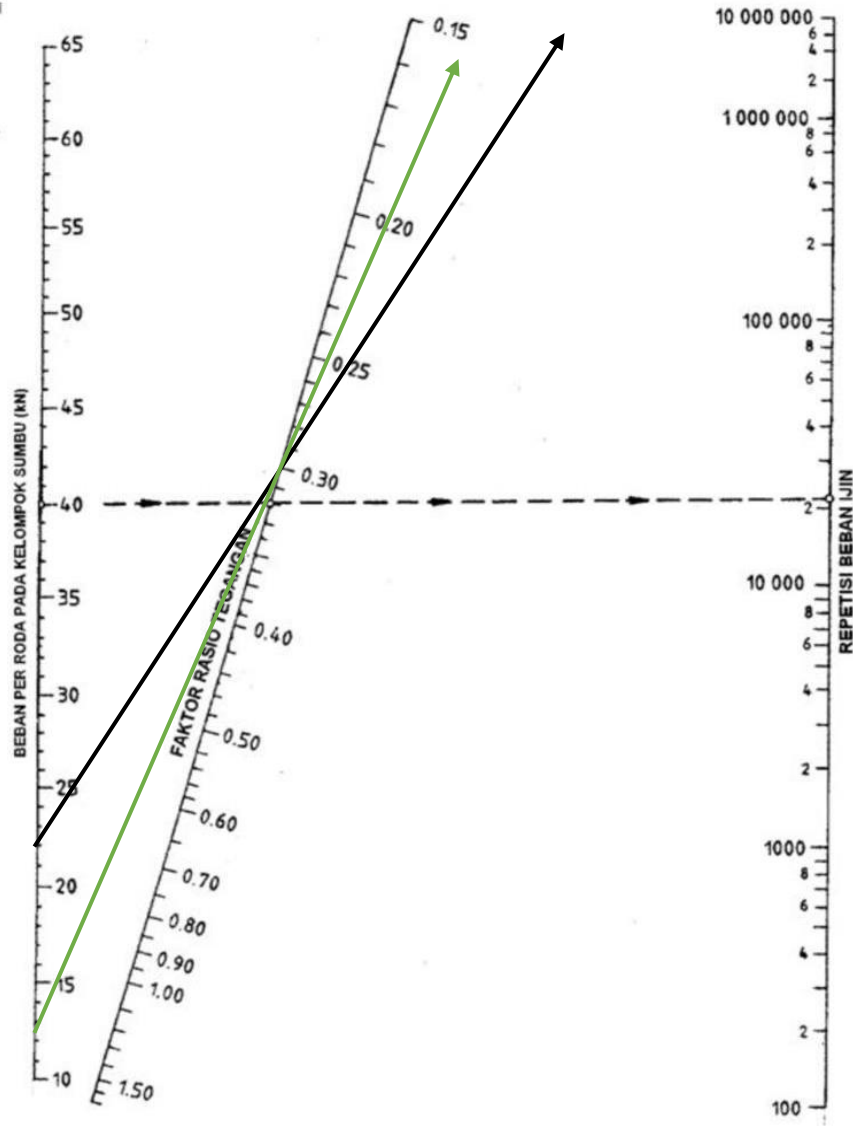
- Beban Rencana : 33.00 KN = Terbaca 2.000.000 →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.12 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STRT Beton Plat 150 mm

Analisa Fatik STRG (FRT : 0.315)

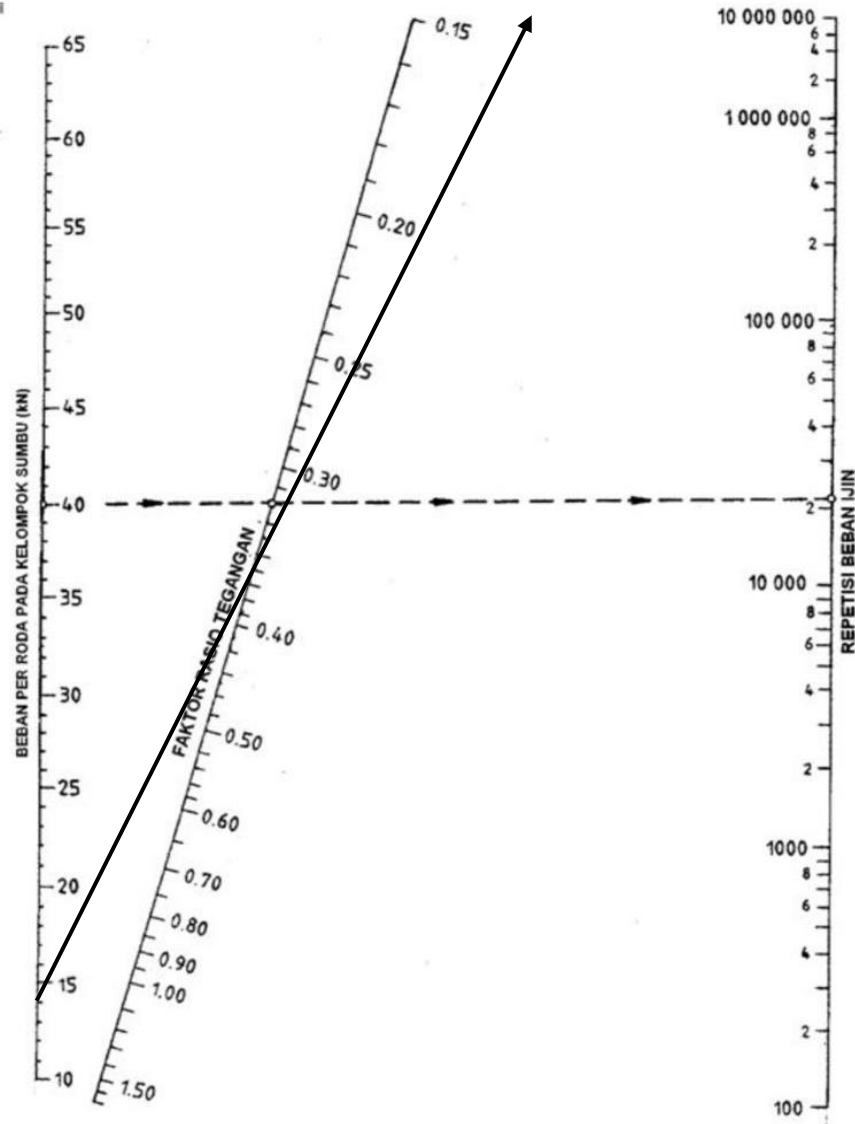
Beban Rencana : 22.00 = Terbaca TT \longrightarrow
 Beban Rencana : 13.75 = Terbaca TT \longrightarrow



Gambar 4.13 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STRG Beton Plat 150 mm

Analisa Fatik STdRG (FRT : 0.378)

Beban Rencana : 14.00 = Terbaca TT →

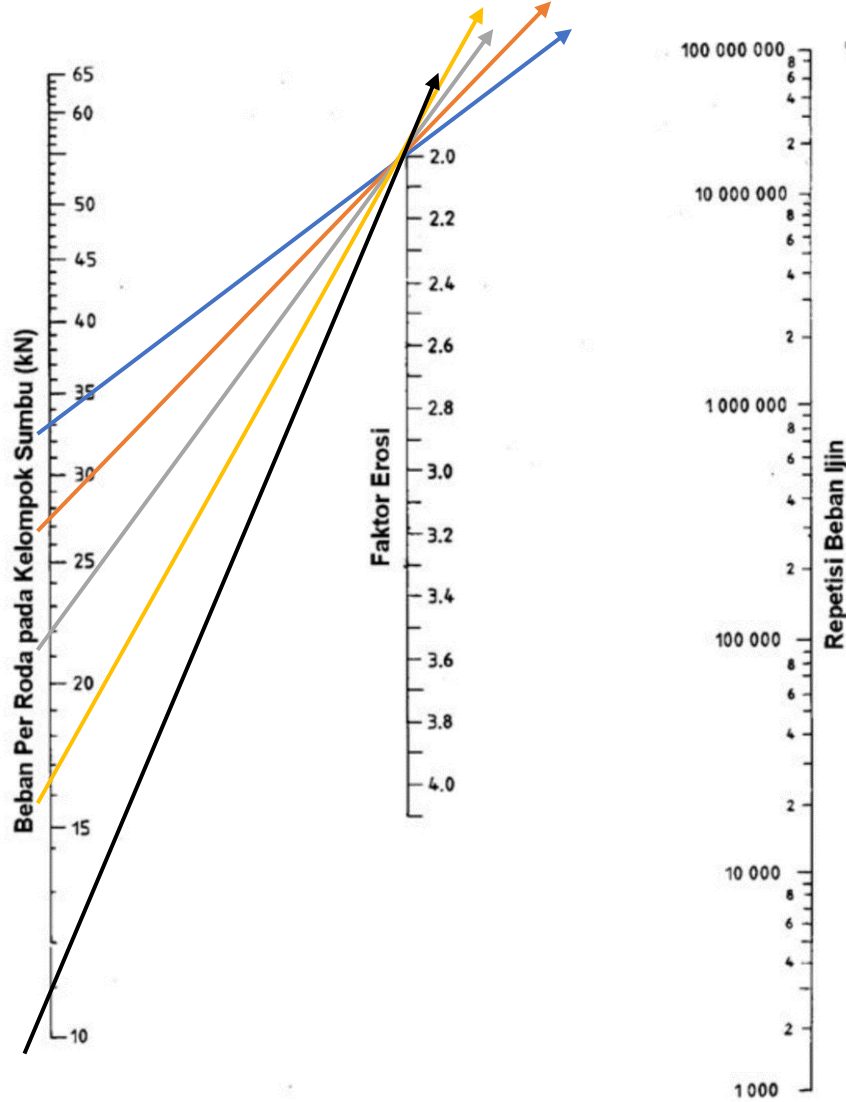


Gambar 4.14 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STdRT Beton Plat 150 mm

Grafik untuk mencari analisis erosi dan beban repetisi ijin berdasarkan factor erosi, dengan / tanpa bahu beton untuk tebal 150 mm pada tabel 4.30 Dapat dilihat pada gambar 4.16

Analisa Erosi STRT (FE : 2.08)

- Beban Rencana : 33.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →

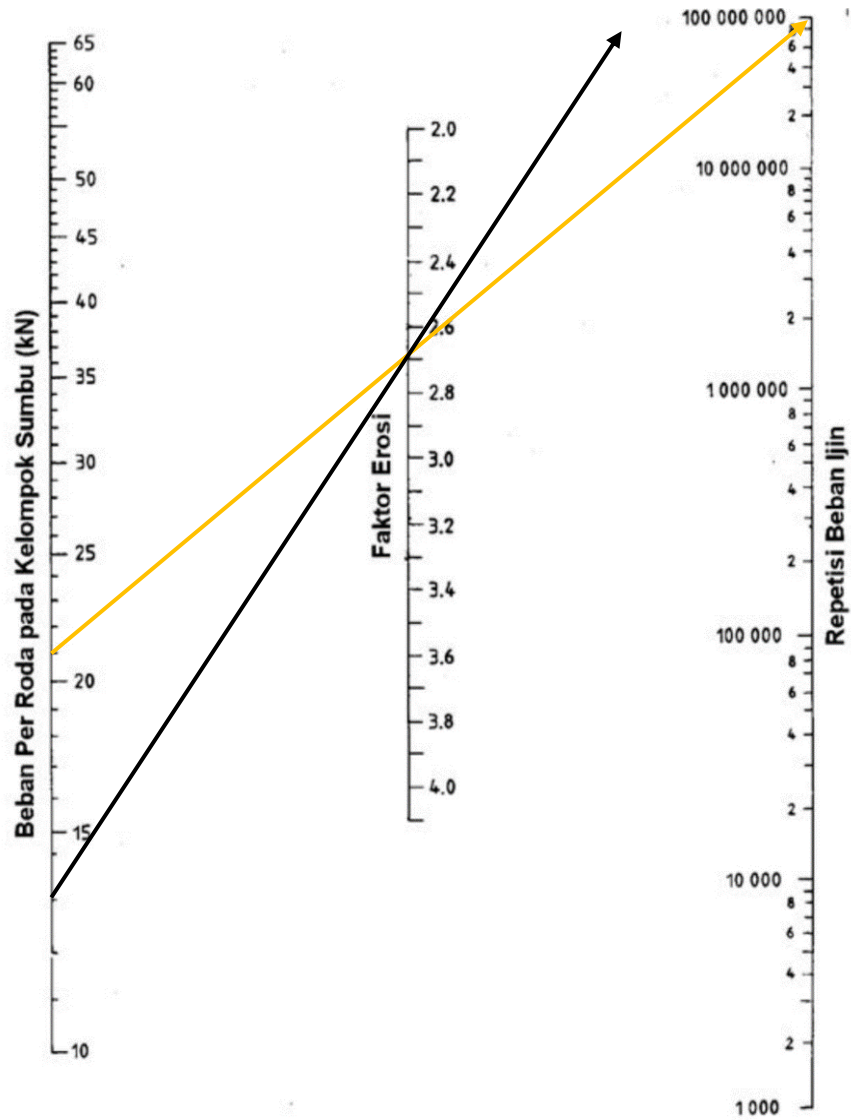


Gambar 4.15 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STRT Beton Plat 150 mm

Analisa Erosi STRG (FE : 2.68)

Beban Rencana : 22 KN = Terbaca 100.000 →

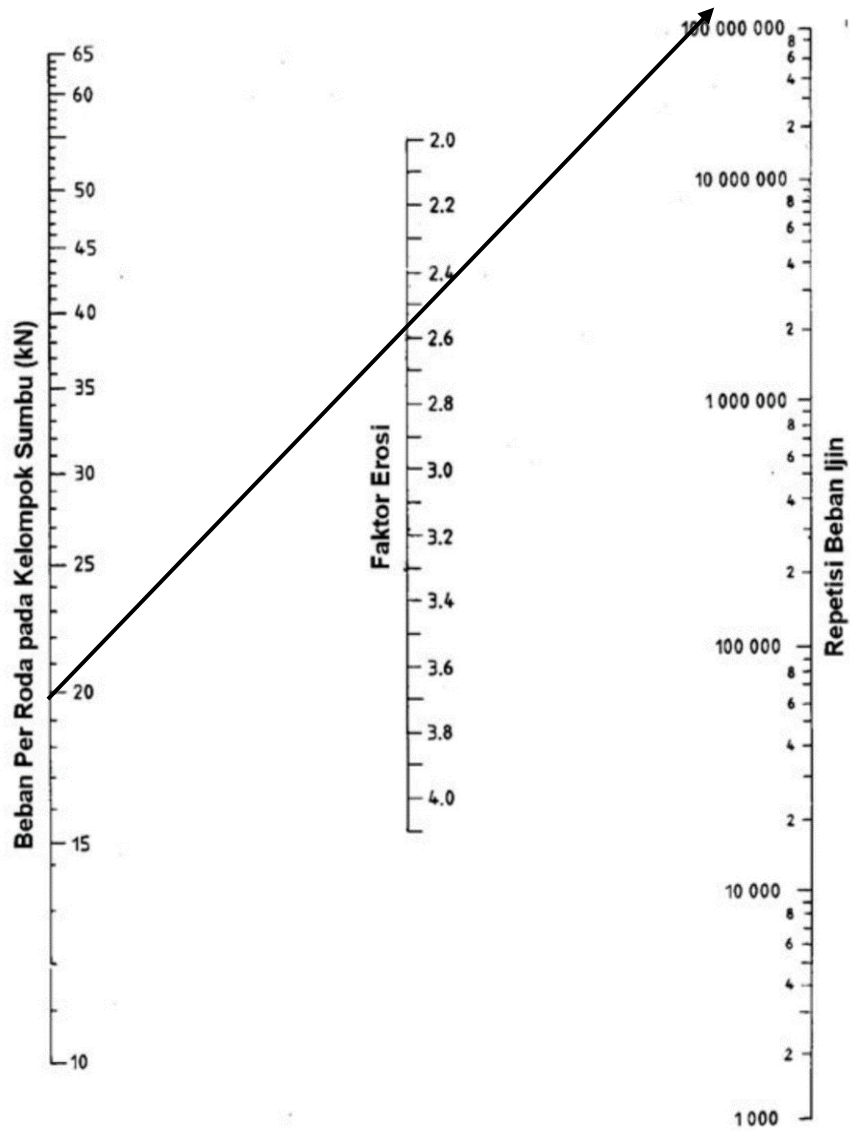
Beban Rencana : 13.7 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.16 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio tegangan STRD Beton Plat 150 mm

Analisa Erosi STRG (FE : 2.62)

Beban Rencana : 19.25 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.17 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan SRdRD Beton Plat 150 mm

Karena dengan ketebalan perkerasan sebesar 15 cm tidak memenuhi persyaratan dilanjutkan dengan ketebalan yang lebih tebal yaitu 16 cm dan mendapatkan hasil 265.552.1 605 persen kerusakan, sehingga tidak memenuhi persyaratan karena persen kerusakan $\leq 100\%$. Analisa fatik dan erosi dapat dilihat pada **Tabel 4.31**

Tabel 4.31 Analisa Fatik Dan Erosi Tebal 16 Cm

Jenis	Beban		Beban	Repetisi	Faktor Tegangan		Analisa Fatik		Analisa Erosi	
	Sumbu	Sumbu			Rencana/	Yang	Dan Erosi	Repetisi	Persen Rusak	Repetisi
	Ton	(kN)	Roda (kN)	Terjadi			Ijin	(%)	Ijin	(%)
a	B		C	d	E		F	$g = \frac{d \cdot 100}{f}$	H	$i = \frac{d \cdot 100}{h}$
STRT	6	60	33	265552.1	TE	1.136	10.000000	26555.21	TT	0
	5	50	27.5	2727944.3	FRT	0.284	TT	0	TT	0
	4	40	22	2408074.725	FE	1.981	TT	0	TT	0
	3	30	16.5	2697767.925			TT	0	TT	0
	2	20	11	2408074.725			TT	0	TT	0
STRG	8	80	22	2257192.85	TE	1.18	TT	0	TT	0
	5	50	13.75	26977667.93	FRT	0.295	TT	0	TT	0
					FE	2.55				
STdRG	14	140	19.25	265552.1	TE	1.39	TT	0	TT	0
					FRT	0.347				
					FE	2.55				
Konfigurasi							100% < 26555.21		100 % > 0	

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

TT = Tidak Terbatas

TE = Tegangan Ekvivalen

FE = Faktor Erosi

FRT = Faktor Erosi Tegangan

Didapatkan dari tegangan ekivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu (f'_{cf}).

Contoh Perhitungan :

$$FRT = TE/f'cf$$

$$FRT \text{ STRT} = 1.05/4.58 = 0.2$$

Penjelasan tabel 4.31

1. Kolom a : jenis sumbu kendaraan

2. Kolom b : beban sumbu (KN)

Mengelompokkan beban sumbu setiap kendaraan sesuai jenis sambunya (STRT,STRG,STdRG) yang satuannya dikonfersikan terlebih dahulu dari Kg menjadi KN.

3. Kolom c : beban rencana per roda

Didapatkan dengan mengalikan beban sumbu dengan faktor keamanan beban (FKB), Selanjutnya dibagi dengan jumlah roda yang mempunyai sesuai dengan jenis sambunya.

Contoh Perhitungan :

$$STRT = \left(\frac{20 \times 1.1}{2} \right) = 11$$

4. Kolom d : repetisi yang terjadi

Didapatkan dari nilai repetisi yang sebelumnya pada tabel 4.22

5. Kolom e : faktor tegangan erosi

Tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE), sedangkan faktor erosi tegangan (FRT) didapatkan dari tegangan ekivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu beton

6. Kolom f : analisa fatik (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisan fatik dan repetisi beban ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan atau tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

7. Kolom g : analisan fatik (presentasi rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan analisa fatik (repetisi ijin) (kolom f) dan dikalikan 100%.

8. Kolom h : analisa erosi (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisa erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

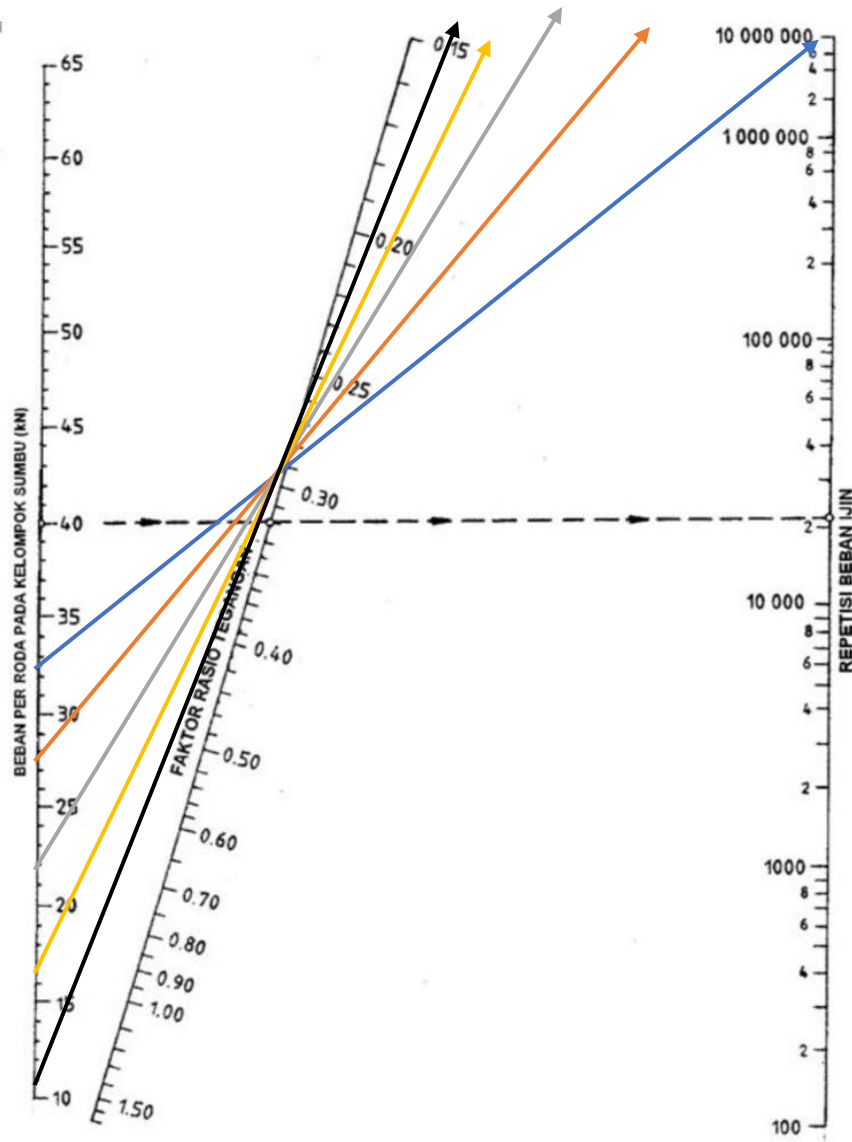
9. Kolom i : analisan erosi (presentase rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan analisa erosi (repetisi ijin) (kolom h) dan dikalikan 100%.

Grafik untuk mencari Analisa fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan ratio tegangan, dengan/tanpa bahu beton untuk tebal 160 mm pada tabel 4.31 dapat dilihat pada gambar 4.19.

Analisa Fatik STRT (FRT : 0.284)

- Beban Rencana : 33.00 KN = Terbaca 10.000 →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →

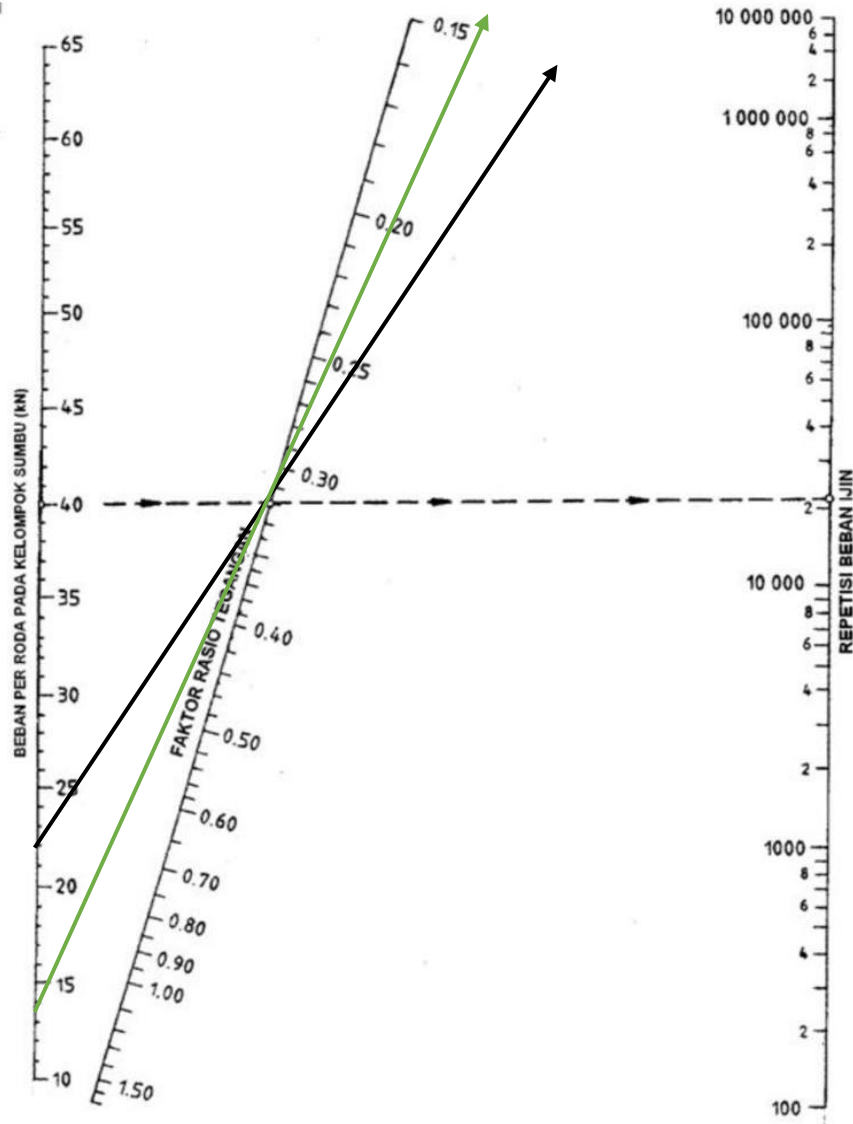


Gambar 4.18 Analisa Fatik Berdasarkan Tegangan STRT Beton Plat 160 mm

Analisa Fatik STRG (FRT : 0.295)

Beban Rencana : 22.00 = Terbaca TT →

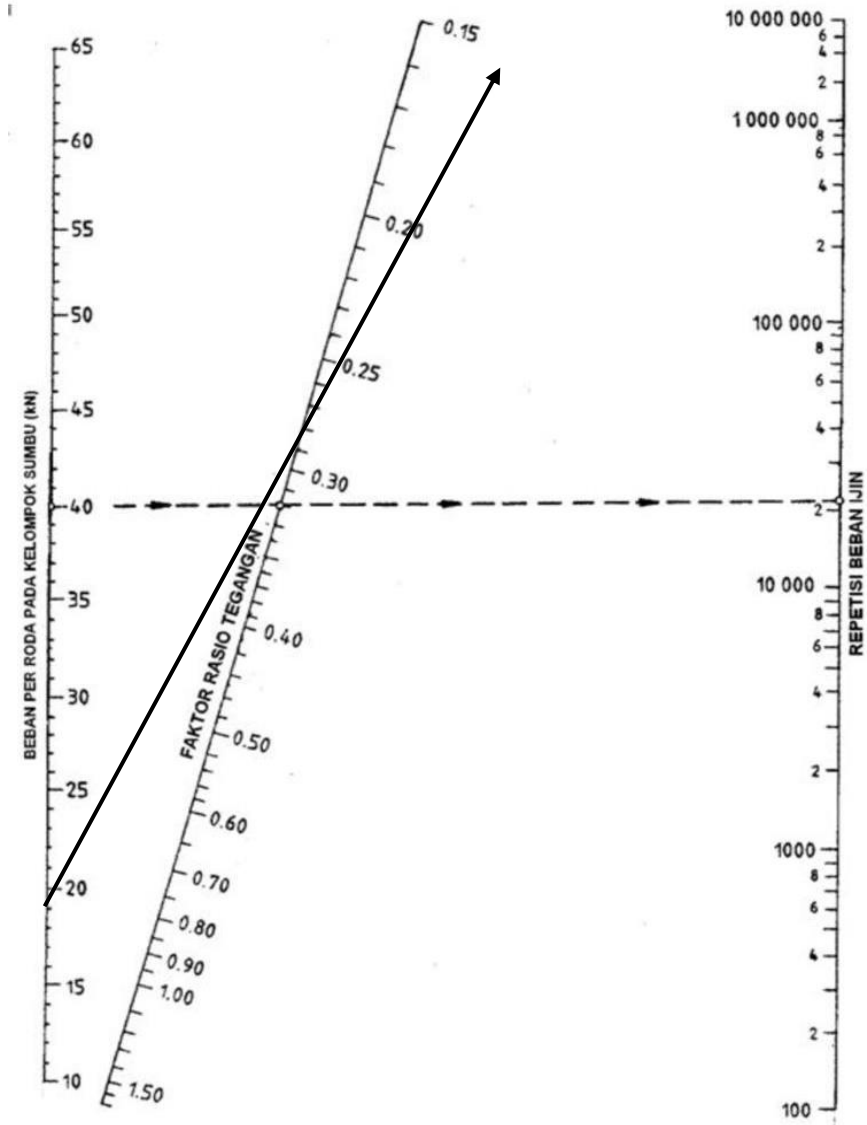
Beban Rencana : 13.75 = Terbaca TT →



Gambar 4.19 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STRG Beton Plat 160 mm

Analisa Fatik STRG (FRT : 0.295)

Beban Rencana : 19.25 = Terbaca TT →

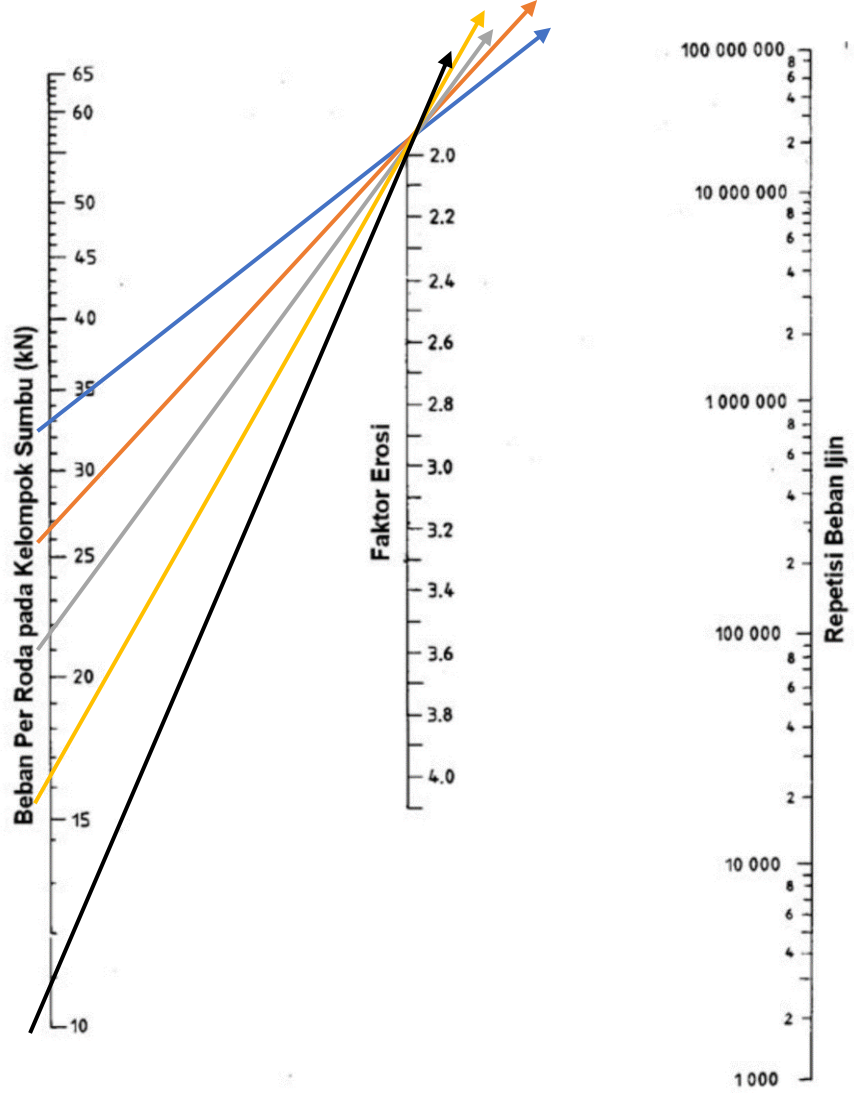


Gambar 4.20 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STdrg Beton Plat 160 mm

Grafik untuk mencari analisis erosi dan beban repetisi ijin berdasarkan factor erosi, dengan / tanpa bahu beton untuk tebal 160 mm pada tabel 4.31 Dapat dilihat pada gambar 4.22

Analisa Erosi STRT (FE : 1.981)

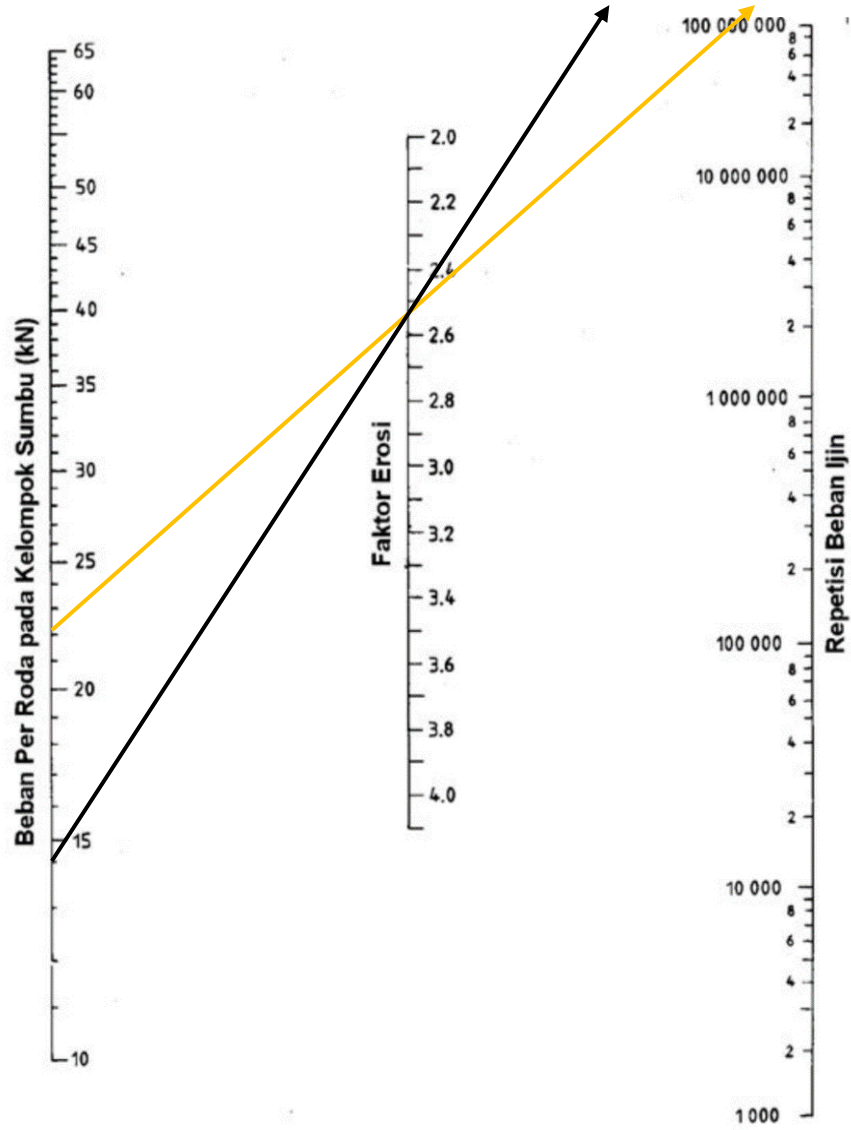
- Bebam Rencana : 33.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →



Gambar 4. 21 Anlisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STRT Beton Plat 160 mm

Analisa Erosi STRG (FE : 2.55)

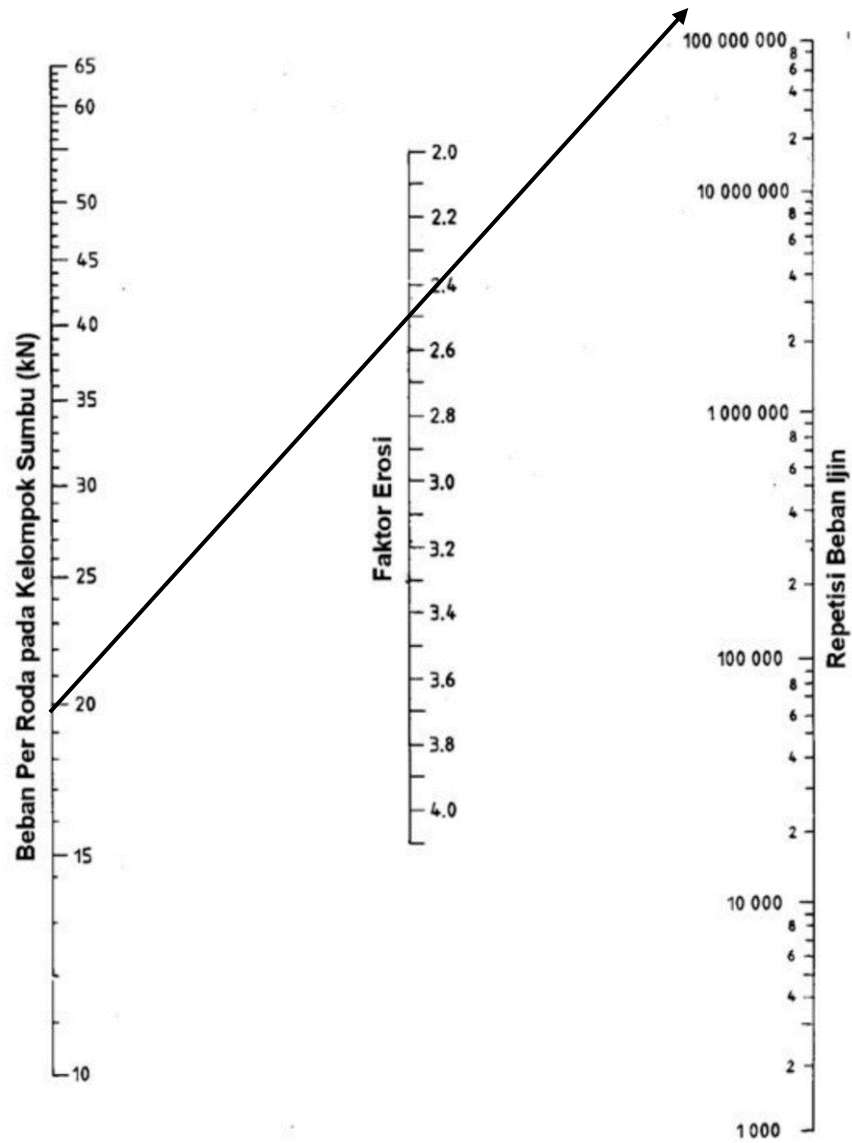
Beban Rencana : 22 KN = Terbaca TT →
 Beban Rencana : 13.7 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.22 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STRG Beton Plat 160 mm

Analisa Erosi STRG (FE : 2.55)

Beban Rencana : 19.25 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.23 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STdRD Beton Plat 160 mm

Karena dengan ketebalan perkerasan sebesar 16 cm memenuhi persyaratan dilanjutkan dengan ketebalan yang lebih tebal yaitu 1 cm. Menganalisa fatik dan erosi yang terjadi pada ketebalan perkerasan 17 cm dan mendapatkan hasil 0 persen kerusakan dengan repitasi ijin sebesar 0 sehingga memenuhi persyaratan karena persen kerusakan < 100% namun dalam hal ini tebal yang perkerasan terlalu ketebalan sehingga dapat mempengaruhi biaya. Analisa fatik dan erosi dapat dilihat pada **Tabel 4.32**

Tabel 4.32 Analisa Fatik Dan Erosi Tebal 17 Cm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu		Beban Rencana/ Roda (kN)	Repetisi Yang Terjadi	Faktor Tegangan Dan Erosi		Analisa Fatik		Analisa Erosi	
	Ton	(kN)					Repetisi	Persen Rusak	Repetisi	Persen Rusak
			Ijin							
A	B		C	D	e		F	$g = \frac{d \cdot 100}{f}$	H	$i = \frac{d \cdot 100}{h}$
STRT	6	60	33	265552.1	TE	1.041	TT	0	TT	0
	5	50	27.5	2727944	FRT	0.260	TT	0	TT	0
	4	40	22	2408075	FE	1.926	TT	0	TT	0
	3	30	16.5	2697768			TT	0	TT	0
	2	20	11	2408075			TT	0	TT	0
STRG	8	80	22	2257193	TE	1.13	TT	0	TT	0
	5	50	13.75	26977668	FRT	0.283	TT	0	TT	0
					FE	2.52				
STdRG	14	140	19.25	265552.1	TE	1.27	TT	0	TT	0
					FRT	0.318				
					FE	2.49				
TOTAL							0	0	0	0

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

TT = Tidak Terbatas

TE = Tegangan Ekuivalen

FE = Faktor Erosi

FRT = Faktor Erosi Tegangan

Didapatkan dari tegangan ekuivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu (f'_{cf}).

Contoh Perhitungan :

$$FRT = TE/f'cf$$

$$FRT \text{ STRT} = 1.14/4.58 = 0.25$$

Penjelasan tabel 4.32

1. Kolom a : jenis sumbu kendaraan

2. Kolom b : beban sumbu (KN)

Mengelompokkan beban sumbu setiap kendaraan sesuai jenis sumpunya (STRT,STRG,STdRG) yang satuannya dikonfersikan terlebih dahulu dari Kg menjadi KN.

3. Kolom c : beban rencana per roda

Didapatkan dengan mengalikan beban sumbu dengan faktor keamanan beban (FKB), Selanjutnya dibagi dengan jumlah roda yang mempunyai sesuai dengan jenis sumpunya.

Contoh Perhitungan :

$$STRT = \left(\frac{20 \times 1.1}{2} \right) = 11$$

4. Kolom d : repetisi yang terjadi

Didapatkan dari nilai repetisi yang sebelumnya pada tabel 4.22

5. Kolom e : faktor tegangan erosi

Tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE), sedangkan faktor erosi tegangan (FRT) didapatkan dari tegangan ekivalen (TE) dibagi dengan nilai mutu beton

6. Kolom f : analisa fatik (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisan fatik dan repetisi beban ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan atau tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

7. Kolom g : analisan fatik (presentasi rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan analisa fatik (repetisi ijin) (kolom f) dan dikalikan 100%.

8. Kolom h : analisa erosi (repetisi ijin)

Didapat dari grafik analisa erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi tanpa bahu beton. Jika garis perpotongan beban roda dan faktor rasio tegangan diluar garis repetisi beban ijin maka repetisi beban ijinnya ditulis TT (tidak terbatas).

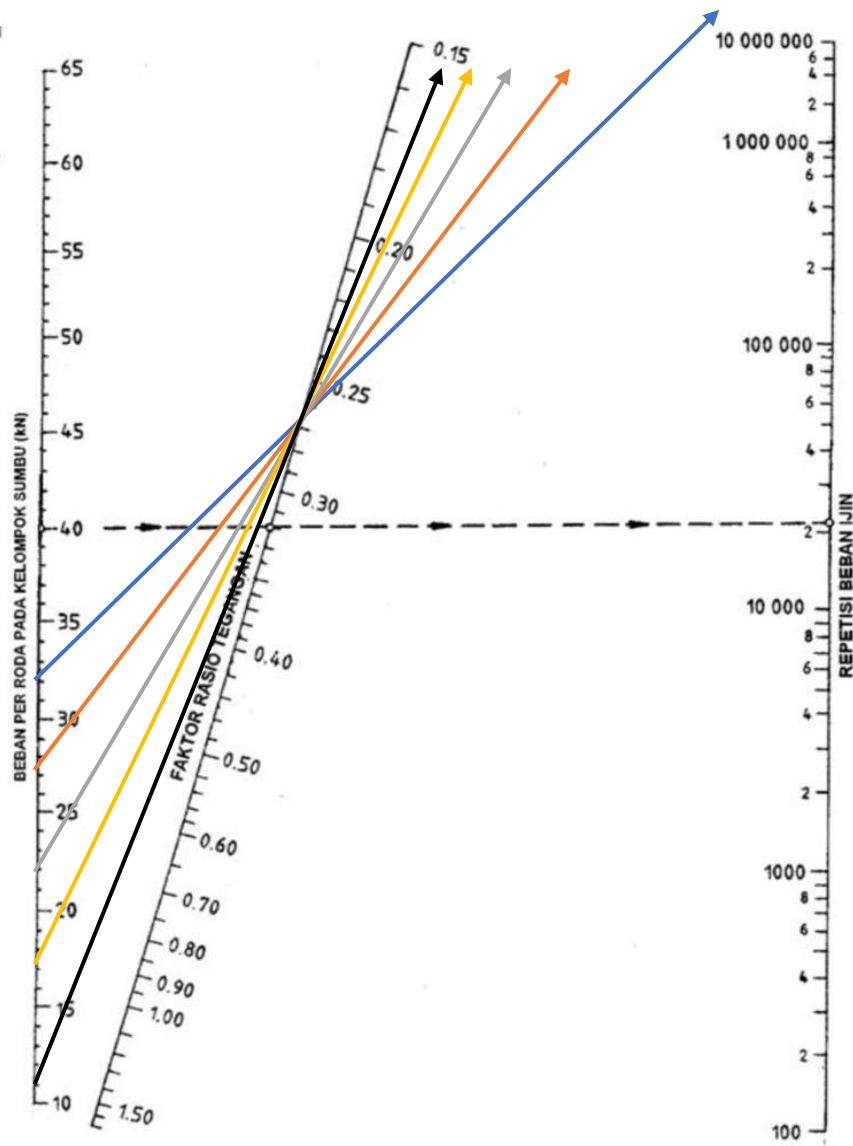
9. Kolom i : analisan erosi (presentase rusak)

Didapatkan dari hasil bagi antara repetisi ijin (kolom d) dibagi dengan analisa erosi (repetisi ijin) (kolom h) dan dikalikan 100%.

Grafik untuk mencari Analisa fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan ratio tegangan, dengan/tanpa bahu beton untuk tebal 170 mm pada tabel 4.32 dapat dilihat pada gambar 4.25.

Analisa Fatik STRT (FRT : 0.260)

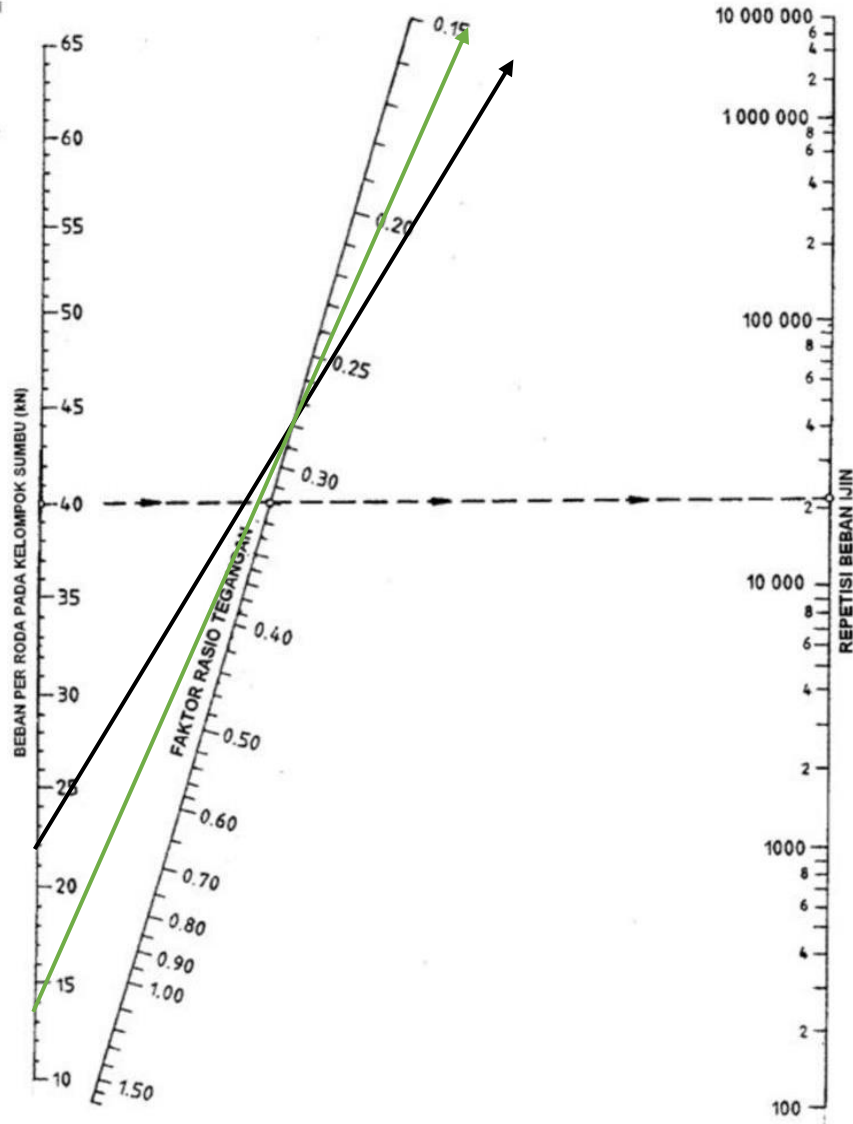
- Beban Rencana : 33.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.24 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STRT Beton Plat 170 mm

Analisa Fatik STRG (FRT : 0.283)

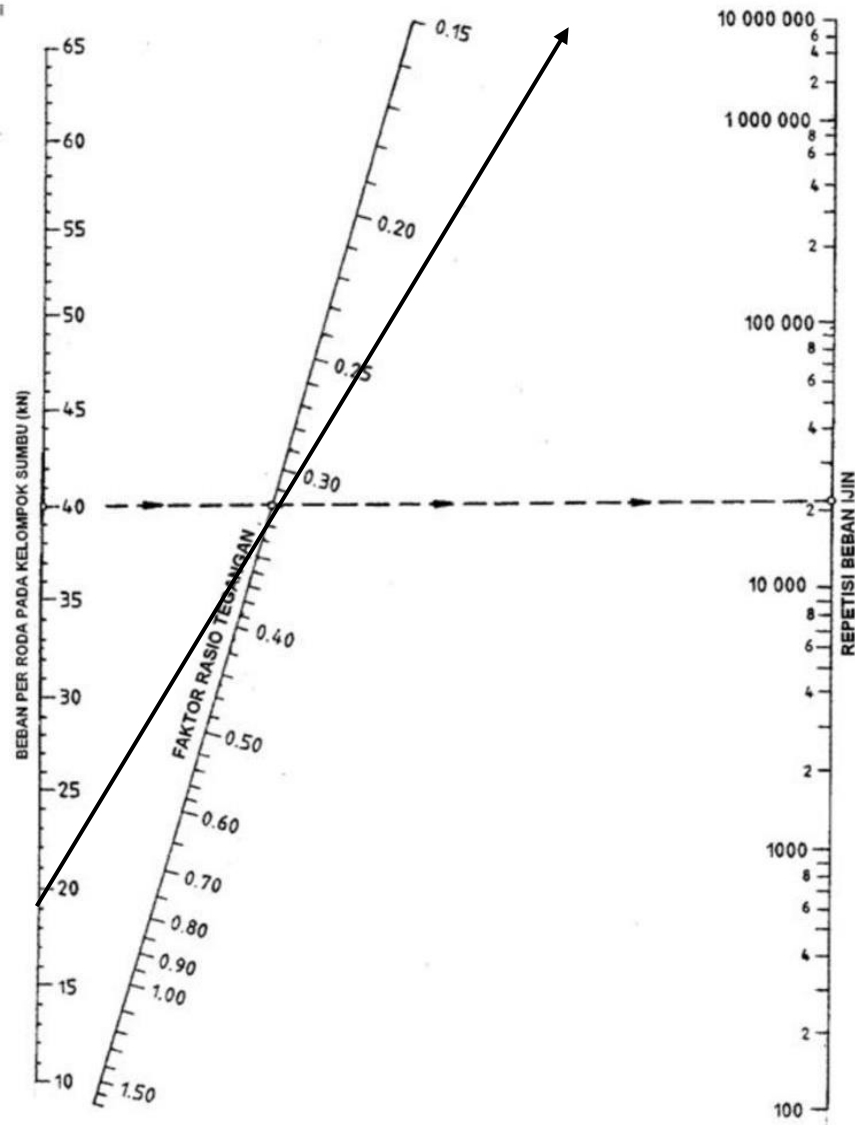
Beban Rencana : 22.00 = Terbaca TT →
 Beban Rencana : 13.75 = Terbaca TT →



Gambar 4.25 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STRG Beton Plat 170 mm

Analisa Fatik STRG (FRT : 0.318)

Beban Rencana : 19.25 = Terbaca TT →

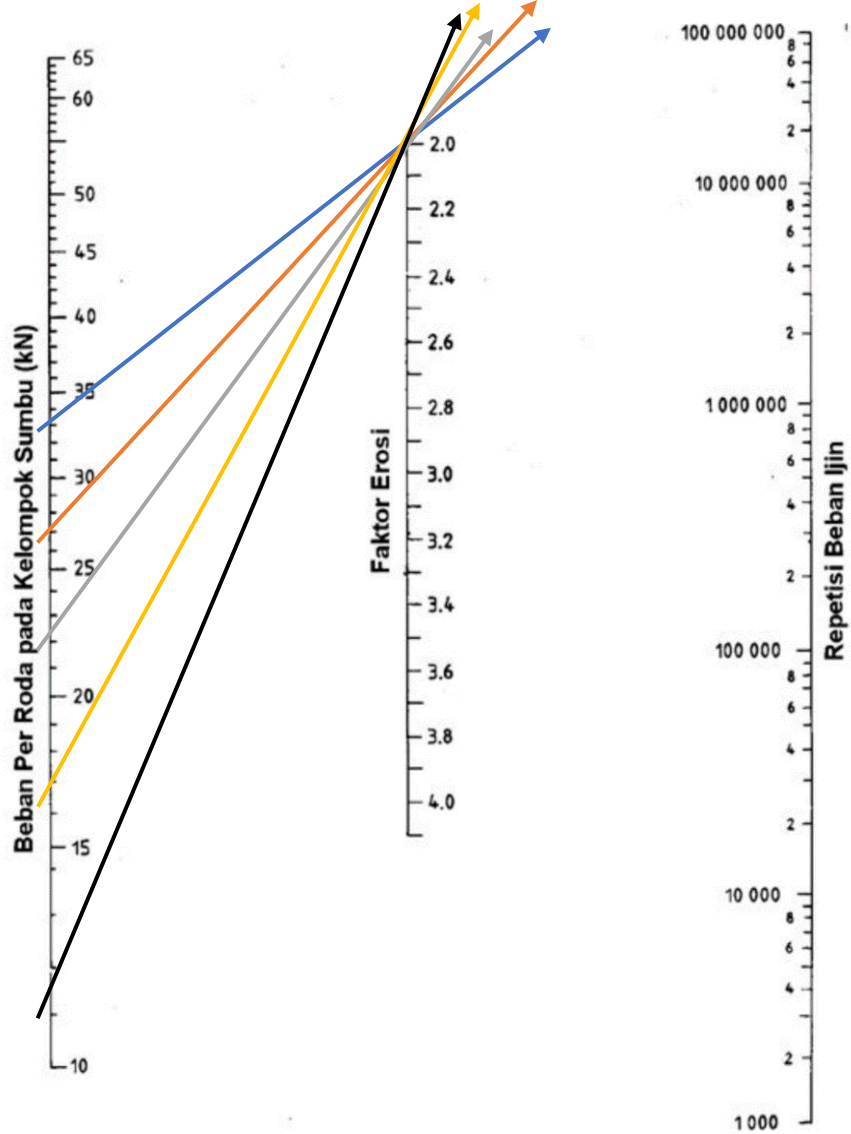


Gambar 4.26 Analisa Fatik Berdasarkan Ratio Tegangan STdRG Beton Plat 170 mm

Grafik untuk mencari analisis erosi dan beban repetisi ijin berdasarkan factor erosi, dengan / tanpa bahu beton untuk tebal 170 mm pada tabel 4.32 Dapat dilihat pada gambar 4.28

Analisa Erosi STRT (FE : 1.926)

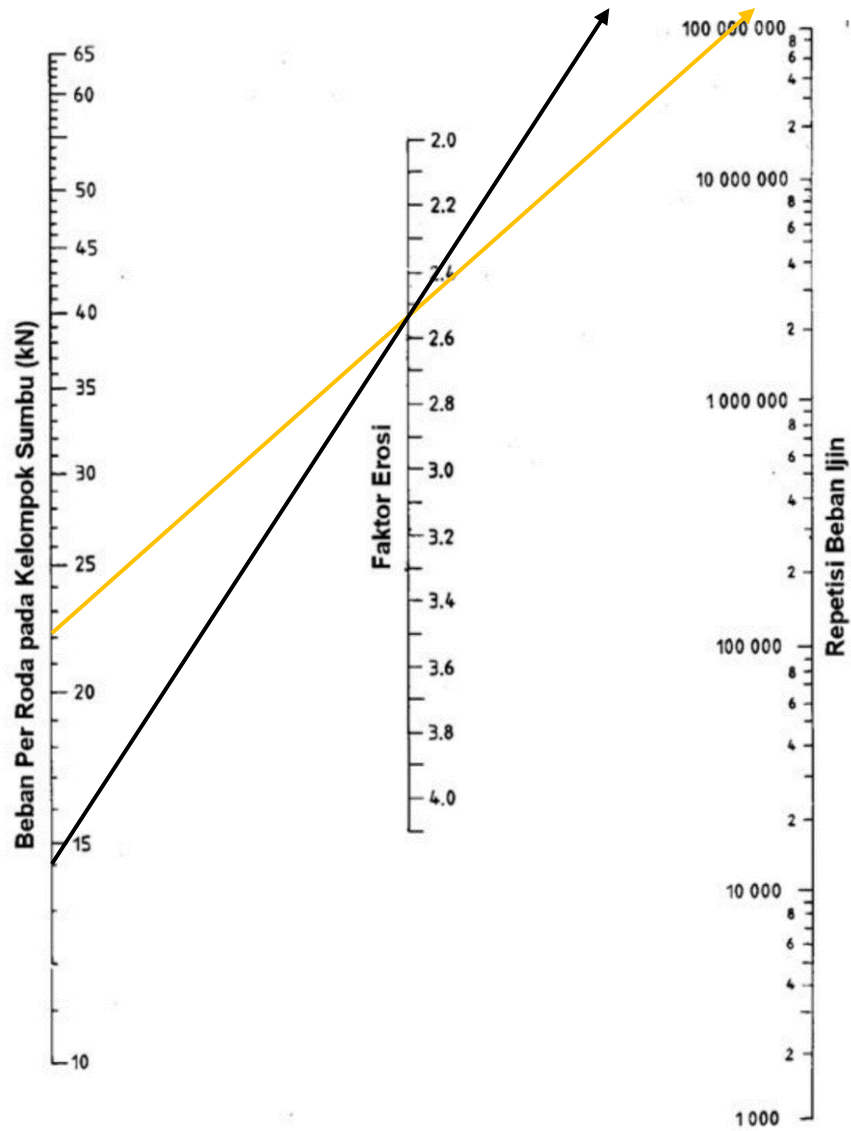
- Beban Rencana : 33.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 27.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 22.00 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 16.5 KN = Terbaca TT →
- Beban Rencana : 11.00 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.27 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STRT Beton Plat 170 mm

Analisa Erosi STRG (FE : 2.52)

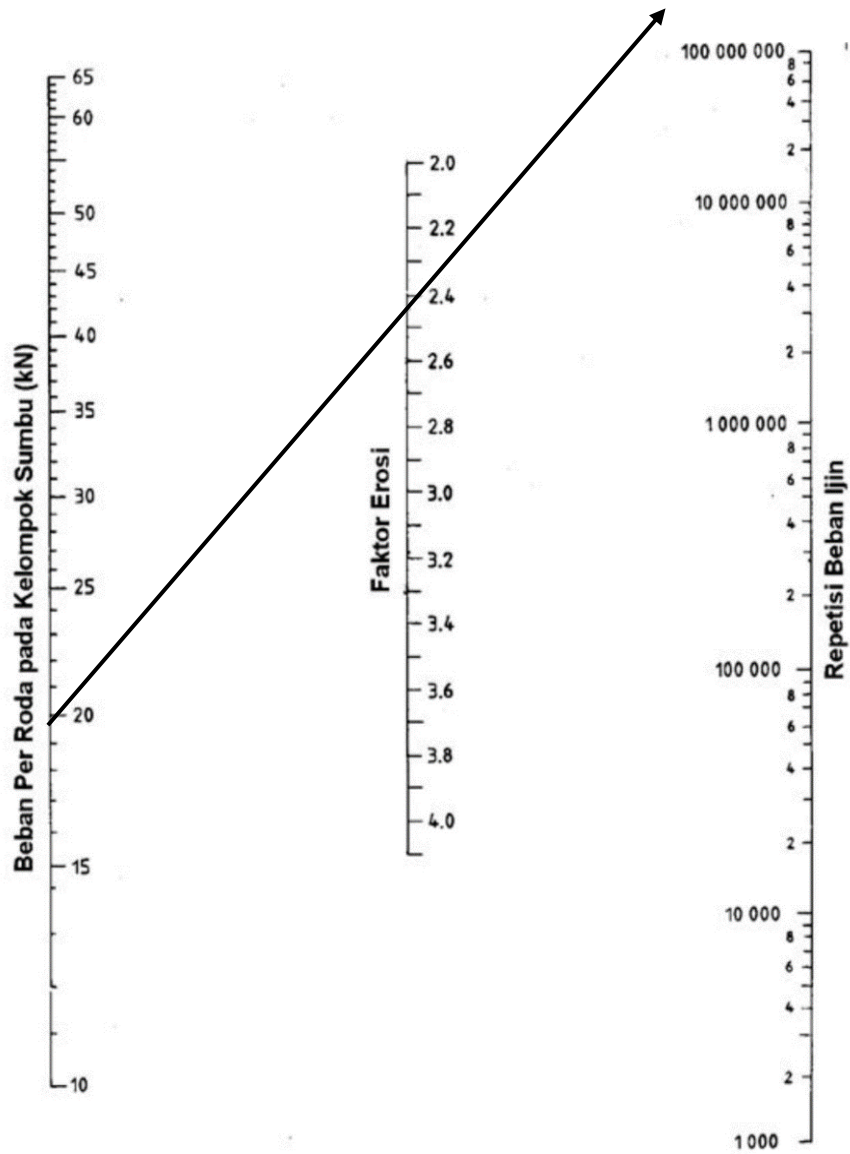
Beban Rencana : 22 KN = Terbaca TT →
 Beban Rencana : 13.7 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.28 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STRD Beton Plat 170 mm

Analisa Erosi STdRG (FE : 2.49)

Beban Rencana : 19.25 KN = Terbaca TT →



Gambar 4.29 Analisa Erosi Berdasarkan Ratio Tegangan STdRD Beton Plat 170 mm

Berdasarkan analisa fatik dan analisa erosi untuk tebal plat dipilih sebesar 17 cm karena telah memenuhi persyaratan dan merupakan tebal minimum. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada **Tabel 434**

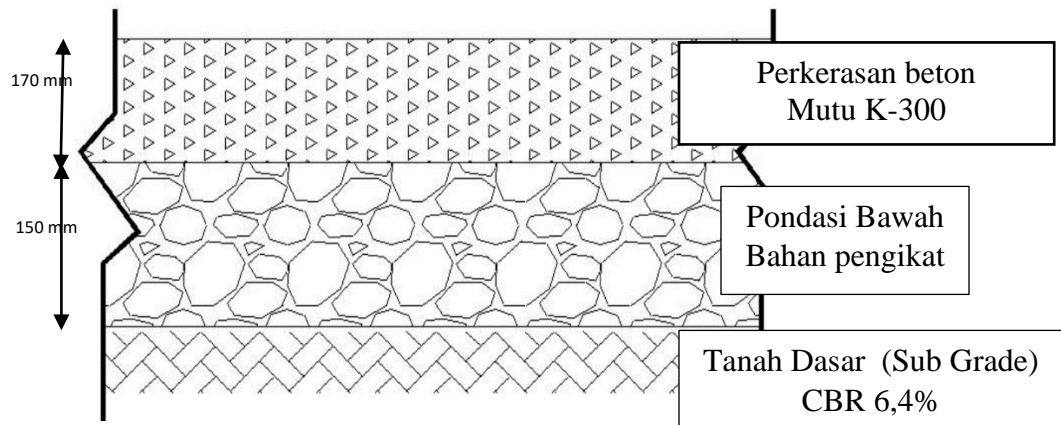
Tabel 4.33 Analisa Fatik Dan Erosi Terhadap Tebal Plat

No	Tebal Plat (mm)	Analisa Fatik	Analisa Erosi	Keterangan
1	150	885.173 > 100 %	2257.192 > 100 %	Tidak Aman
2	160	26555.21 > 100 %	0 < 100 %	Tidak Aman
3	170	0 < 100 %	0 < 100 %	Aman

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Kesimpulan diatas adalah dari tiga perhitungan tebal slab percobaan pada tebal 150 mm dan 160 mm memiliki analisa fatik tidak aman dikarenakan presentase kerusakan lebih dari 100% walaupun pada tebal 160 mm memiliki analisa erosi aman kurang dari 100%

Sedangkan pada tebal 170 mm memiliki analisa fatik dan erosi kurang dari 100% sehingga aman dalam perencanaan perkerasan kaku. Karena memenuhi persyaratan dalam perencanaan tebal perkerasan kaku yang mengacu pada buku perencanaan perkerasan jalan beton semen (PD T -14-2003)



Tabel 4.34 Tebal Perencanaan Perkerasan Kaku

4.4.13 Menentukan Ruji (*Dowel*)

Tabel 4.35 Ukuran Dan Jarak Ruji Yang Disarankan

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 : DPU, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen 2003*)

Berdasarkan persyaratan dalam perencanaan tebal perkerasan kaku yang mengacu pada buku *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)* tentang sambungan melintang (*Dowel*) diameter dowel tergantung pada tebal slab perencanaan perkerasan kaku. Diketahui nilai tebal slab sebesar 190 mm maka diperoleh ukuran diameter dowel sesuai dengan tabel 4.25 sebesar 28 mm menggunakan besi polos dengan panjang 450 mm dan jarak antar dowel 300 mm.

$$D = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak} = 300 \text{ mm}$$

Jumlah tranversal joint (sambungan melintang)

$$= \frac{\text{Panjang Jalan}}{\text{L Memanjang}} = \frac{5580}{6} = 930 \text{ Dowel}$$

Jumlah dowel 1 tranversal joint

$$= \frac{\text{Lebar Jalan}}{\text{Jarak Dowel}} = \frac{7}{0.3} = 23.3 \text{ Dowel}$$

$$\text{Banyak Dowel} = \text{Jumlah Trans Joint} \times \text{Jumlah Dowel 1 Trans Joint}$$

$$= 930 \times 23.3$$

$$= 21669 \text{ Dowel}$$

Total panjang dowel yang dibutuhkan

$$= \text{banyak dowel} \times \text{panjang 1 dowel}$$

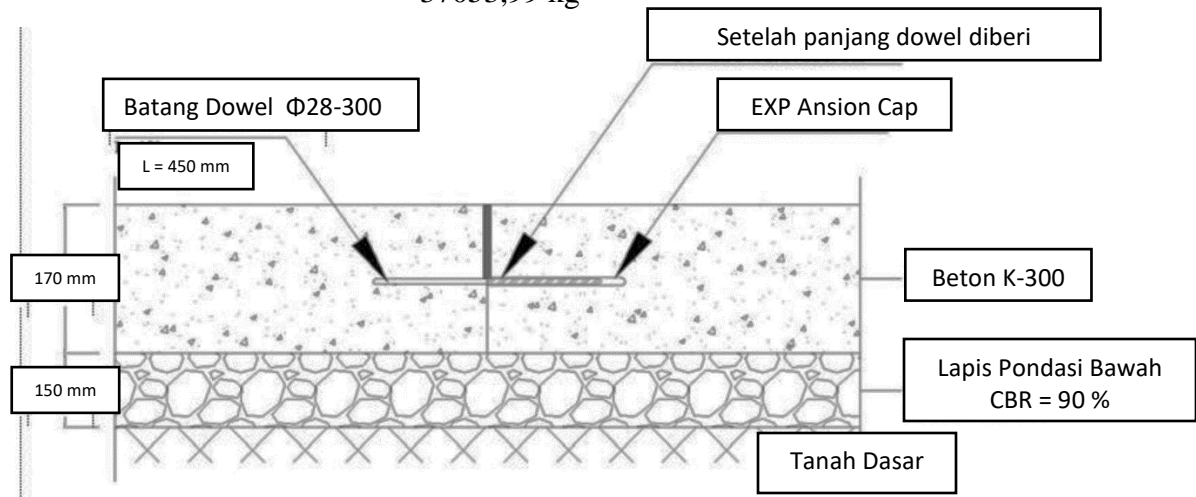
$$= 21669 \times 450$$

$$= 9751,05 \text{ m}$$

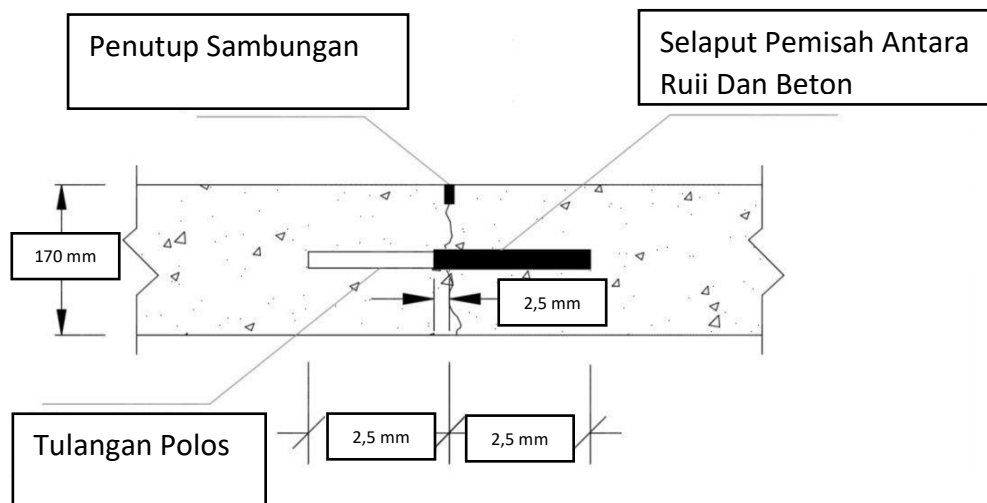
BJ Tulangan = 7850 Kg/m^3

Berat 1 meter tulangan = $0.25\pi d^2 \times 1 \text{ m} \times \text{BJ Tulangan}$
= $0.25\pi(0.024)^2 \times 1 \text{ m} \times 7850$
= $3,8 \text{ kg/m}$

Volume Dowel = total panjang dowel x berat dowel
= $9751,05 \times 3,8$
= $37053,99 \text{ kg}$



Gambar 4.30 Detail Sambungan Dowel



Gambar 4.31 Penampang Sambungan Melintang Ruji (Dowel)

4.4.14 Perhitungan Batang Pengikat (*Tie Bar*)

batang pengikat (tie bar) dipasang pada sambungan memanjang dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal.

$$\begin{aligned} D &= 16 \text{ mm} \\ \text{Jarak} &= 750 \text{ mm} \\ L &= (38,3 \times D) + 75 \\ &= (38,3 \times 16) + 75 \\ &= 687,8 \sim 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Keterangan :

L = Panjang batang pengikat (mm)

D = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

$$\text{Banyak tie bar} = \frac{\text{Pajang Jalan}}{\text{Jarak Tie Bar}} = \frac{5580}{0.75} = 7440$$

Berdasarkan persyaratan perencanaan tebal perkerasan kaku yang berpedoman buku perencanaan perkerasan jalan beton semen (Pd-T-14-2003) tentang sambungan memanjang (*Tie Bars*). Di peroleh hasil :

Tebal slab perkerasan tanpa tulangan = 170 mm (Beton K-300)

Tebal lapis pondasi bawah = 100 mm

Panjang = 450 mm

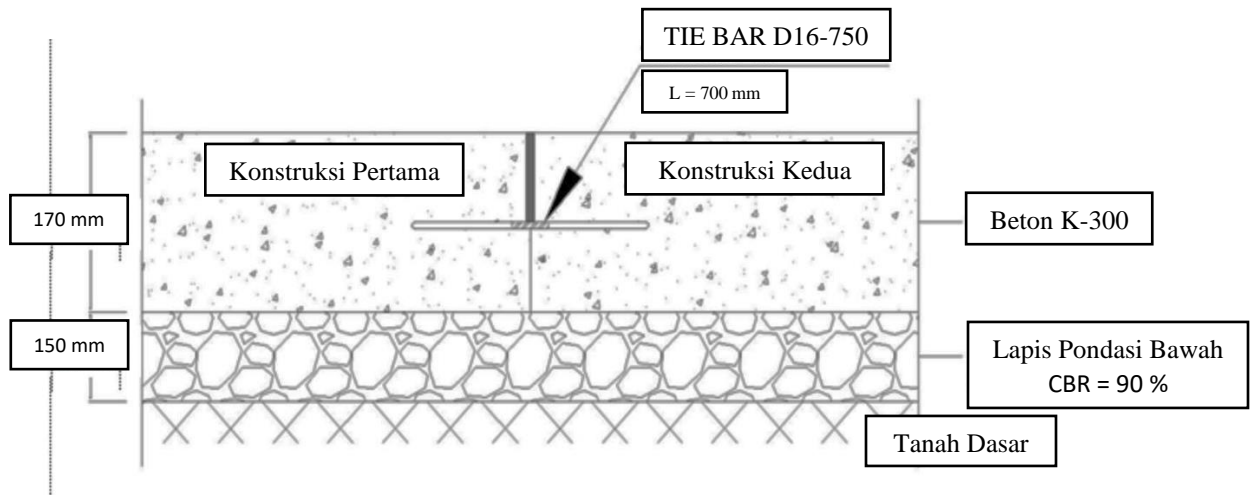
Jarak antar dowel = 300 mm

Jarak setiap segmen = 5 m

Sambungan memanjang (*Tie Bar*) = 16 mm (Besi Ulir)

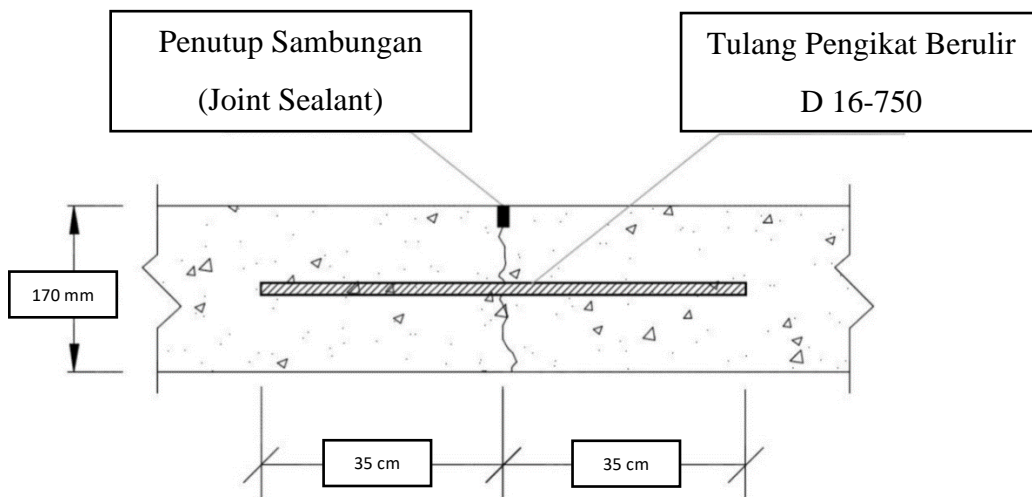
Panjang batang pengikat = 700 mm

Jarak antar *tie bar* = 750 mm



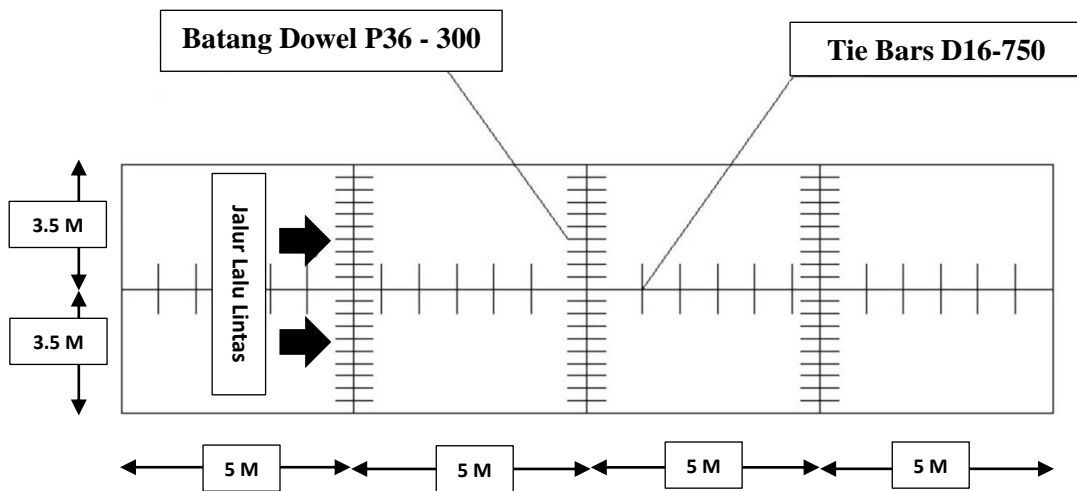
Gambar 4.32 Detail Tampak Samping Sambungan Tie Bar

Berdasarkan perhitungan tersebut, batang pengikat (tie bars) pada sambungan memanjang memiliki diameter 16 mm, jarak antar batang 75 cm, dan panjang batang 70 cm. Gambar untuk penampang sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie bars) dapat dilihat pada **Gambar 4.20** di bawah ini.



Gambar 4.33 Penampang Sambungan Memanjang Dengan Batang Pengikat (Tie Bars)

Sambungan susut melintang untuk beton bersambung tanpa tulangan (BBTT) atau jointed plain concrete pavement (JPCP) berjarak antara 4 - 5 m, sehingga dipilih jarak antar sambungan adalah 5 m. Dengan tebal pelat beton 24 cm, maka diameter baja polos sebesar 36 mm. Sehingga sambungan dilengkapi ruji (dowel) polos dengan panjang 45 cm, jarak antar ruji (dowel) 30 cm, dan diameter 36 mm. Bagian setengah panjang dari ruji (dowel) dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menghindari ikatan pada saat pelat beton menyusut. dapat dilihat pada **Gambar 4.21** di bawah ini.



Gambar 4.34 Denah Sambungan Memanjang (Tie Bars) Dan Sambungan Melintang (Dowel)