

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jalan

Berdasarkan UU. No 38 Tahun 2004 Pasal 1 ayat 4 Tentang Jalan dijelaskan bahwa, Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

Sistem jaringan jalan adalah satu kesatuan ruas jalan yang saling menghubungkan dan mengikat pusat-pusat pertumbuhan dengan wilayah yang berada dalam pengaruh pelayanannya dalam satu hubungan hierarkis. Sistem jaringan jalan terdiri atas sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder. Sistem jaringan jalan primer merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat-pusat kegiatan. Sistem jaringan jalan sekunder sebagaimana merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan. Ketentuan lebih lanjut mengenai sistem jaringan jalan diatur dalam peraturan pemerintah.

2.2 Klafikasi Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton.

Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan kasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Fungsi, Kelas, dan Medan Jalan

FUNGSI JALAN	ARTERI			KOLEKTOR			LOKAL		
KELAS JALAN	I	II	IIIA	IIIB			IIIC		
Muatan Sumbu Terberat, (ton)	>10	10		8			Tidak ditentukan		
TIPE MEDAN	D	B	G	D	B	G	D	B	G
Kemiringan Medan, (%)	<3	3 - 25	>25	<3	3 - 25	>25	<3	3 - 25	>25

Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997

1. Jalan Kelas I, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan lebih besar dari 10 ton.
2. Jalan Kelas II, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 10 ton, jalan kelas ini merupakan jalan yang sesuai untuk angkutan peti kemas.
3. Jalan Kelas III A, yaitu jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter,

ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.

4. Jalan Kelas III B, yaitu jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.
5. Jalan Kelas III C, yaitu jalan lokal dan jalan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.

2.3 Bagian - Bagian Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan, bagian-bagian jalan terdiri atas :

2.3.1 Ruang Manfaat Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 pasal 35 ruang manfaat jalan merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu. Ruang manfaat jalan meliputi badan jalan, median, jalur pemisah, bahu jalan, saluran tepi jalan, trotoar, lereng, ambang pengaman, gorong-gorong, dan bangunan pelengkap lainnya.

Dalam rangka menunjang pelayanan lalu lintas dan angkutan jalan serta pengamanan konstruksi jalan, badan jalan dilengkapi dengan ruang bebas. Lebar ruang bebas yang dimaksud sesuai dengan lebar badan jalan. Tinggi ruang bebas

bagi jalan arteri dan jalan kolektor paling rendah 5 meter. Sedangkan kedalaman ruang bebas paling rendah 1,5 meter dari permukaan jalan.

Saluran tepi jalan adalah saluran yang diperuntukkan bagi penampungan dan penyaluran air agar badan jalan bebas dari pengaruh air. Ukuran saluran tepi jalan ditetapkan sesuai dengan lebar permukaan jalan dan keadaan lingkungan. Saluran tepi jalan juga dapat diperuntukkan sebagai saluran lingkungan.

Ambang pengaman jalan dapat berupa bidang tanah dan/atau konstruksi bangunan pengaman yang berada di antara tepi badan jalan dan batas ruang manfaat jalan yang hanya diperuntukkan bagi pengamanan konstruksi jalan.

2.3.2 Ruang Milik Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 pasal 39 ruang milik jalan terdiri dari ruang manfaat jalan dan sejalur tanah tertentu di luar ruang manfaat jalan. Ruang milik jalan merupakan ruang sepanjang jalan yang diperuntukkan bagi ruang manfaat jalan, pelebaran jalan, dan penambahan jalur lalu lintas di masa akan datang serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan. Adapun sejalur tanah tertentu yang dimaksud dapat dimanfaatkan sebagai ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai lansekap jalan.

Ruang milik jalan paling sedikit memiliki lebar sebagai berikut:

- a. jalan bebas hambatan 30 (tiga puluh) meter;
- b. jalan raya 25 (dua puluh lima) meter;
- c. jalan sedang 15 (lima belas) meter; dan
- d. jalan kecil 11 (sebelas) meter.

2.3.3 Ruang Pengawasan Jalan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 pasal 44 ruang pengawasan jalan merupakan ruang tertentu di luar ruang milik jalan yang penggunaannya ada di bawah pengawasan penyelenggara jalan yang diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan serta pengamanan fungsi jalan yang di batasi oleh lebar dan tinggi tertentu.

Lebar ruang pengawasan jalan ditentukan dari tepi badan jalan paling sedikit dengan ukuran sebagai berikut:

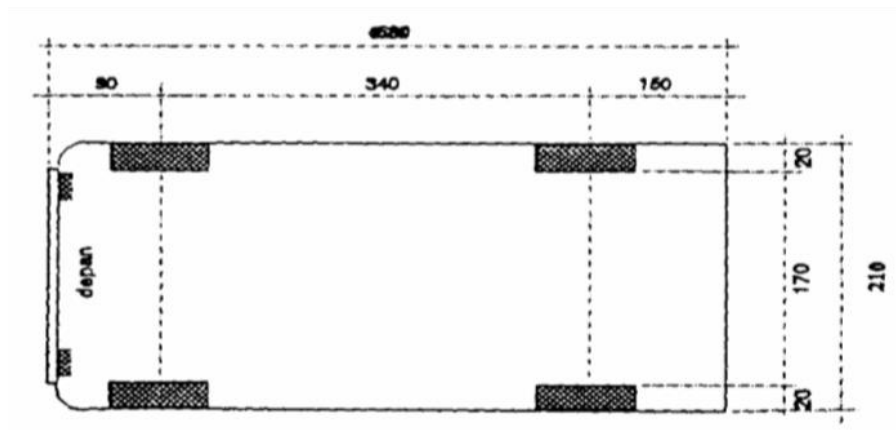
- a. jalan arteri primer 15 (lima belas) meter;
- b. jalan kolektor primer 10 (sepuluh) meter;
- c. jalan lokal primer 7 (tujuh) meter;
- d. jalan lingkungan primer 5 (lima) meter;
- e. jalan arteri sekunder 15 (lima belas) meter;
- f. jalan kolektor sekunder 5 (lima) meter;
- g. jalan lokal sekunder 3 (tiga) meter;
- h. jalan lingkungan sekunder 2 (dua) meter; dan
- i. jembatan 100 (seratus) meter ke arah hilir dan hulu

2.4 Parameter Perencanaan Geometrik Jalan

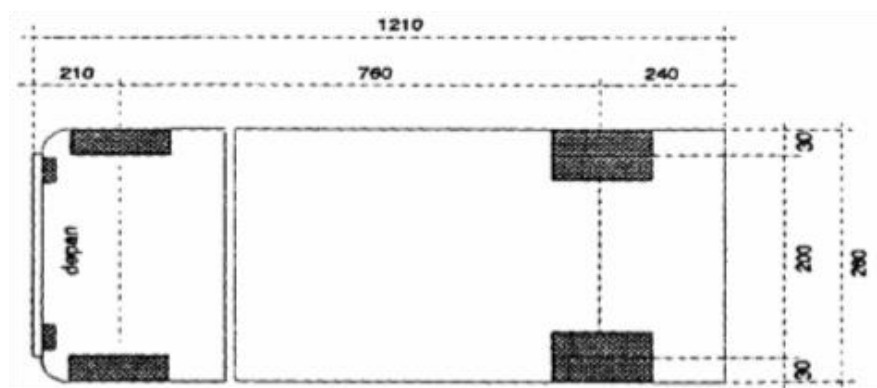
2.4.1 Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya, dipergunakan untuk merencanakan bagian-bagian dari jalan (Sukirman, S., 1999). Untuk perencanaan geometrik jalan, ukuran lebar kendaraan rencana akan mempengaruhi lebar lajur yang dibutuhkan. Radius putar kendaraan akan mempengaruhi perencanaan tikungan. Daya kendaraan akan mempengaruhi

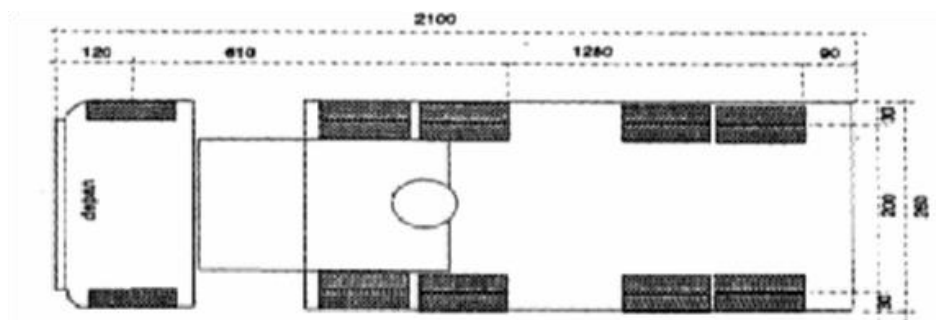
tingkat kelandaian yang dipilih, dan tinggi tempat duduk pengemudi akan mempengaruhi jarak pandangan pengemudi. Kendaraan rencana yang akan dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan ditentukan oleh fungsi jalan dan jenis kendaraan dominan yang memakai jalan tersebut.



Gambar 2.1 Dimensi Kendaraan Kecil
Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997



Gambar 2.2 Dimensi Kendaraan Sedang
Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997



Gambar 2.3 Dimensi Kendaraan Besar
Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997

Tabel 2.2 Dimensi Kendaraan Rencana

Katagori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar (cm)		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Mak	
Kendaraan Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Kendaraan Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Kendaraan Besar	410	260	2100	12	90	290	1400	1370

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

Tabel 2.3 Penentuan Lebar Lajur dan Bahu Jalan

VLHR (smp/hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	LJ (m)	LB (m)	LJ (m)	LB (m)	LJ (m)	LB (m)	LJ (m)	LB (m)	LJ (m)	LB (m)	LJ (m)	LB (m)
<3.000	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,5	4,5	1,0	6,0	1,0	4,5	1,0
3.000- 10.000	7,0	2,0	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,5	7,0	1,5	6,0	1,0
10.000- 25.000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	**))	**))	-	-	-	-
>25.000	2nu3,5*)	2,5	2×7,0*)	2 0	2nu3,5*)	2,0	**))	**))	-	-	-	-

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

2.4.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (VR) adalah kecepatan yang dipilih untuk perencanaan setiap bagian jalan raya seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang dan lain-lain. Kecepatan yang dipilih tersebut adalah kecepatan tertinggi dimana kendaraan dapat berjalan dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti.

Tabel 2.4 Kecepatan Rencana (VR) Sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

Fungsi	Kecepatan Rencana , VR (km/jam)		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

Untuk kondisi medan yang sulit, VR suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam.

2.4.3 Volume Lalu Lintas Harian Rencana

Volume Lalu Lintas Harian Rencana (VLHR) adalah prakiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dinyatakan dalam SMP/hari. Volume Jam Rencana (VJR) adalah prakiraan volume lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam SMP/jam, dihitung dengan rumus:

$$VJR = VLRH \times K/F \quad (2.1)$$

Keterangan:

K (disebut faktor K) = faktor volume lalu lintas jam sibuk

F (disebut faktor F) = faktor variasi tingkat lalu lintas perseperempat jam dalam satu jam

VJR digunakan untuk menghitung jumlah lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan. Penentuan faktor K dan faktor F berdasarkan volume lalu lintas harian terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penentuan Faktor K dan Faktor F Berdasarkan Volume Lalu Lintas Harian

VLHR	FAKTOR-K (%)	FAKTOR-F (%)
> 50.000	4-6	0,9 - 1
30.000 - 50.000	6-8	0,8-1
10.000 - 30.000	6-8	0,8-1
5.000 - 10.000	8-10	01,6-0,8
1.000 - 5.000	10 - 12	0,6-0,8
< 1.000	12 – 16	< 0,6

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

2.5 Perencanaan Geometrik Jalan

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan (Sukirman, S., 1999).

Perencanaan geometrik jalan merupakan sebuah bagian dari perencanaan yang tertitik beratkan pada alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal, sehingga

dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yang mampu memberikan kenyamanan yang optimal pada arus lalu lintas (Gardjito, E., 2017)

Dalam perencanaan geometrik jalan, harus dipertimbangkan masalah keamanan, kenyamanan dan keselamatan bagi pengguna jalan. Oleh karena itu diperlukan pedoman yang baik dan benar dalam perencanaan, sehingga diharapkan pembangunan infrastruktur dapat tercapai sesuai keinginan.

2.5.1 Jarak Pandang

Jarak Pandang adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi sedemikian sehingga jika pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan, maka pengemudi dapat melakukan sesuatu tindakan untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman. Dibedakan dua Jarak Pandang, yaitu Jarak Pandang Henti (Jh) dan Jarak Pandang Mendahului (Jd).

2.5.1.1 Jarak Pandang Henti

Jarak Pandang Henti adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman sehingga dapat melihat adanya halangan di depan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi Jh. Jh diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 15 cm diukur dari permukaan jalan. Jh terdiri atas 2 elemen jarak, yaitu:

1. Jarak tanggap (Jht) adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan kendaraan harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.

2. Jarak pengereman (J_h) adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

J_h , dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus:

$$J_h = \frac{V_r}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_r}{3,6}\right)^2}{2gf} \quad (2.2)$$

Dimana:

V_R = Kecepatan Rencana (km/jam)

T = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

g = Percepatan gravitasi, ditetapkan 9,8 m/det²

f = Koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal ditetapkan 0,35-0,55

Persamaan diatas disederhanakan menjadi :

$$J_{hB} = 0,694 V_{RB} + 0,004 \frac{V_r}{f} \quad (2.3)$$

Tabel berisi J_h minimum yang dihitung berdasarkan persamaan diatas dengan pembulatan-pembulatan untuk berbagai V_R .

Tabel 2.6 Jarak Pandang Henti Minimum (J_{hmin})

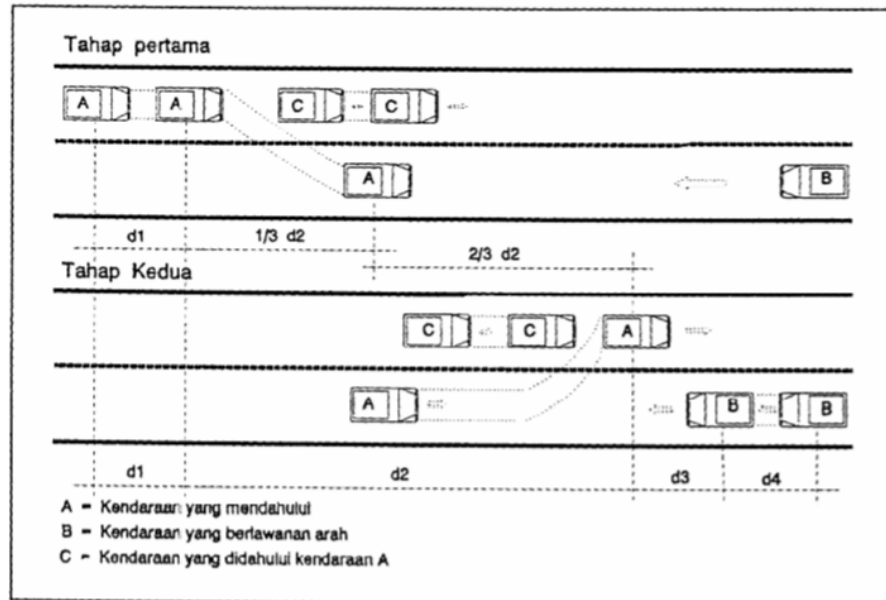
V_R km/jam	120	100	80	60	50	40	30	20
J_h minimum (m)	250	175	120	75	55	40	27	16

Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997

2.5.1.2 Jarak Pandang Mendahului

Jarak Pandang Mendahului adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan

tersebut kembali ke lajur semula (lihat Gambar 2.10). Jd diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm.



Gambar 2.4 Jarak Pandang Mendahului

Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997

Jd, dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut :

$$Jd = d1 + d2 + d3 + d4 \quad (2.4)$$

$$d1 = 0,278 \cdot t1 \left(Vr - m + \frac{at1}{2} \right) \quad (2.5)$$

$$d2 = 0,278 \cdot Vr \cdot t2 \quad (2.6)$$

Dimana :

t1 = Waktu reaksi, yang besarnya tergantung dari kecepatan yang dapat ditentukan dengan korelasi $t1 = 2,12 + 0,026 V$.

t2 = Waktu dimana kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan yang dapat ditentukan dengan mempergunakan rumus $t2 = 6,56 + 0,048 \cdot V$.

m = Perbedaan kecepatan antara kendaraan yang menyiap dan yang disiap
 = 15 km/jam.

d_1 = Jarak yang ditempuh selama waktu reaksi oleh kendaraan yang hendak menyiap dan membawa kendaranya yang hendak mefirbelok ke lajur kanan.

d_2 = Jarak yang ditempuh kendaraan yang menyiap selama berada pada lajur sebelah kanan sampai ke jalur semula.

d_3 = Jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (diambil 30-100 m),

d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang berlawanan arah selama $2/3$ dari waktu yang diperlukan oleh kendaraan yang menyiap berada pada lajur sebelah kanan atau sama dengan $2/3 \times d_2$.

Tabel 2.7 Panjang Jarak Antara Kendaraan

V_R km/jam	50-65	65-80	80-95	95-110
d_3 (m)	30	55	75	90

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

Tabel 2.8 Panjang Jarak Pandang Mendahului

V_R km/jam	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d minimum (m)	800	670	550	350	250	200	15	100

Sumber : TPGJAK No. 038/TBM/1997

Daerah mendahului harus disebar di sepanjang jalan dengan jumlah panjang minimum 30% dari panjang total ruas jalan tersebut.

2.5.2 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, terdiri dari bagian lurus dan lengkung, dikenal juga dengan nama situasi jalan atau trase jalan. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja (Saodang, H., 2010).

2.5.2.1 Panjang Bagian Lurus

Panjang maksimum bagian lurus harus dapat ditempuh dalam waktu $\leq 2,5$ menit (Sesuai V_r), dengan pertimbangan keselamatan pengemudi akibat dari kelelahan. Panjang maksimum bagian lurus terdapat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Panjang jalan maksimum untuk bagian lurus

Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

2.5.2.2 Tikungan

2.5.2.2.1 Jari - Jari Tikungan

Perhitungan awal untuk perhitungan tikungan antara lain :

- Koefisien gesek maksimum (f_{maks})

Untuk $V < 80$ km/jam:

$$f_{maks} = -0,00065.V + 0,192 \quad (2.7)$$

Untuk $V > 80$ km/jam:

$$f_{maks} = -0,00125.V + 0,24 \quad (2.8)$$

b. Jari-jari minimum (R_{min})

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_{maks})} \quad (2.9)$$

c. Derajat lengkung maksimum (D_{maks})

$$D_{maks} = \frac{181913,53 \cdot (e_{maks} + f_{maks})}{V^2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

V = Kecepatan rencana (km/jam)

e_{maks} = Superelevasi maksimum (%)

Dalam perhitungan perencanaan jalan, jari-jari tikungan rencana dapat menggunakan nilai jari-jari yang terdapat pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Panjang Lengkung Peralihan Minimum Dan Superelevasi Yang Dibutuhkan (emaks = 10% Metoda Bina Marga)

D (°)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		E	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,250	5730	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0
0,500	2865	LN	0	LN	0	LP	60	LP	70	LP	75
0,750	1910	LN	0	LP	50	LP	60	0,020	70	0,025	75
1,000	1432	LP	45	LP	50	0,021	60	0,027	70	0,033	75
1,250	1146	LP	45	LP	50	0,025	60	0,033	70	0,040	75
1,500	955	LP	45	0,023	50	0,030	60	0,038	70	0,047	75
1,750	819	LP	45	0,026	50	0,035	60	0,044	70	0,054	75
2,000	716	LP	45	0,029	50	0,039	60	0,049	70	0,060	75
2,500	573	0,026	45	0,036	50	0,047	60	0,059	70	0,072	75
3,000	477	0,030	45	0,042	50	0,055	60	0,068	70	0,081	75
3,500	409	0,035	45	0,048	50	0,062	60	0,076	70	0,089	75
4,000	358	0,039	45	0,054	50	0,068	60	0,082	70	0,095	75
4,500	318	0,043	45	0,059	50	0,074	60	0,088	70	0,099	75
5,000	286	0,048	45	0,064	50	0,079	60	0,093	70	0,100	75
6,000	239	0,055	45	0,073	50	0,088	60	0,098	70	Dmaks = 5,12	
7,000	205	0,062	45	0,080	50	0,094	60	Dmaks = 6,82			
8,000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60				
9,000	159	0,074	45	0,091	50	0,099	60				

10,000	143	0,079	45	0,095	60	Dmaks = 9,12	
11,000	130	0,083	45	0,098	60		
12,000	119	0,087	45	0,100	60		
13,000	110	0,091	50	Dmaks = 12,79			
14,000	102	0,093	50				
15,000	95	0,096	50				
16,000	90	0,097	50				
17,000	84	0,099	50				
18,000	80	0,099	50				
19,000	75	Dmaks = 18,85					

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

Keterangan :

LN = lereng jalan normal diasumsikan = 2%

LP = lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal = 2%

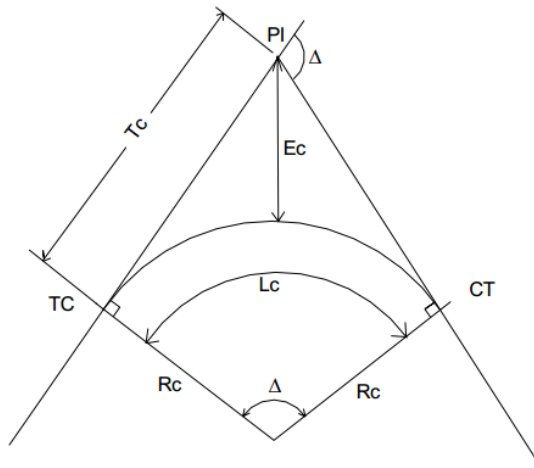
Ls = diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi Shortt, landai relatif maksimum, jarak tempuh 2 detik, dan tebal perkerasan 2 x 3,75 m

2.5.2.2.2 Bentuk Tikungan

2.5.2.2.2.1 Full Circle (FC)

Full Circle (FC) yaitu tikungan yang berbentuk busur lingkaran secara penuh.

Tikungan ini memiliki satu titik pusat lingkaran dengan jari-jari yang seragam.



Gambar 2.5 Tikungan *Full Circle*

$$Tc = R \tan \frac{1}{2} \Delta \quad (2.11)$$

$$Lc = \frac{\Delta}{360^\circ} 2\pi R \quad (2.12)$$

$$Ec = Tc \tan \frac{1}{4} \Delta \quad (2.13)$$

Keterangan :

Δ = Sudut Tikung

TC = Tangen to Circle

CT = Circle to Tangen

Rc = Jari – jari busur lingkaran

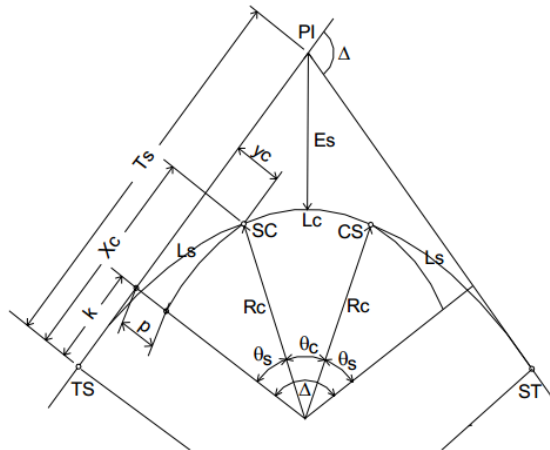
Tc = Panjang Tangen (jarakdari TC ke PI atau PI ke TC)

L_c = Panjang Busur Lingkaran

E_c = Jarak Luar dari PI ke busur lingkaran

2.5.2.2.2 *Spiral-Circle-Spiral (SCS)*

Spiral-Circle-Spiral (SCS) yaitu tikungan yang terdiri atas 1 lengkung *circle* dan 2 lengkung *spiral*.



Gambar 2.6 Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R} \cdot \frac{360}{2\pi} \quad (2.14)$$

$$\Delta_c = \Delta - (2 \cdot \theta_s) \quad (2.15)$$

$$L_c = \frac{\Delta_c \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_c}{360} \quad (2.16)$$

$$X_c = L_s - \left(\frac{L_s^3}{40 \cdot R_c^2} \right) \quad (2.17)$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \cdot R_c} \quad (2.18)$$

$$p = Y_c - R_c(1 - \cos \theta_s) \quad (2.19)$$

$$k = Xc - Rc \cdot \sin \theta_s \quad (2.20)$$

$$Ts = (Rc + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \quad (2.21)$$

$$Es = \frac{(Rc + p)}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - Rc \quad (2.22)$$

$$L_{tot} = Lc + (2 \cdot Ls) \quad (2.23)$$

Keterangan :

Xc = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik ST ke SC

Yc = Jarak tegak lurus ketitik SC pada lengkung

Ls = Panjang dari titik TS ke SC atau CS ke ST

Lc = Panjang busur lingkaran (panjang dari titik SC ke CS)

Ts = Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

TS = Titik dari tangen ke spiral

ISC = Titik dari spiral ke lingkaran

Es = Jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = Sudut lengkung spiral

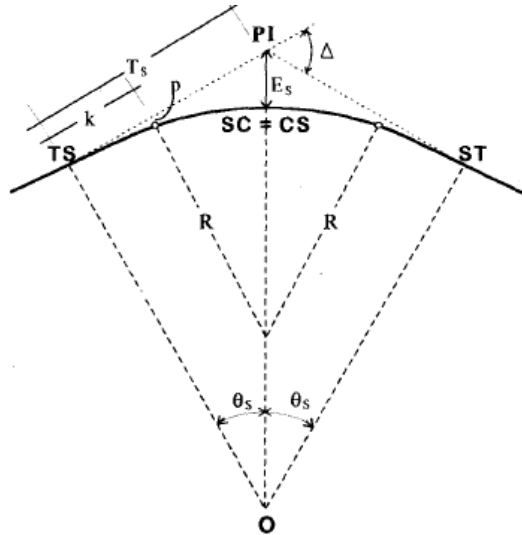
Rc = Jari-jari lingkaran

p = Pergeseran tangen terhadap spiral

k = Absis dari p pada garis tangen spiral

2.5.2.2.3 Spiral-Spiral (SS)

Spiral-Spiral (SS) yaitu tikungan yang terdiri atas dua lengkung spiral.



Gambar 2.7 Tikungan *Spiral-Spiral*

$$\theta_s = \frac{1}{2} \Delta \quad (2.24)$$

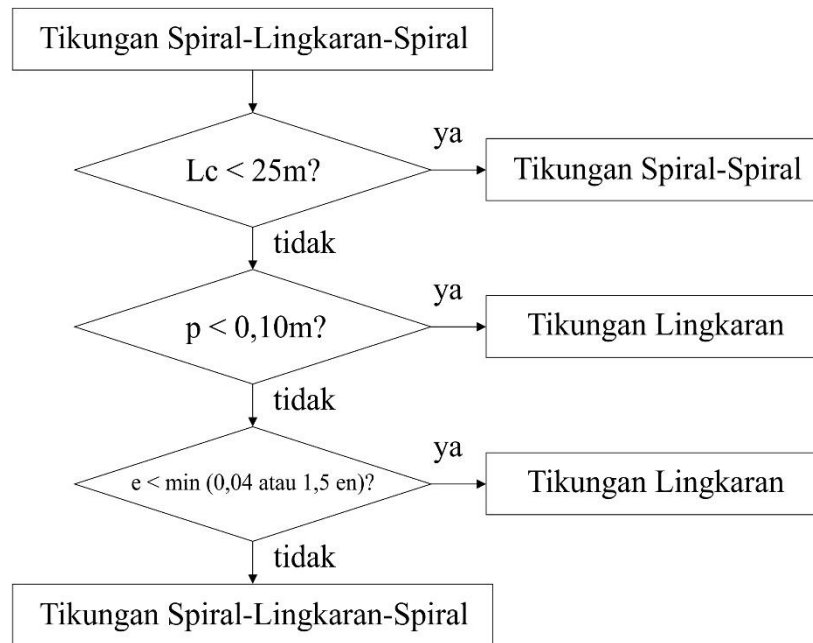
$$L_s = \frac{\theta_s \cdot \pi \cdot R c}{90} \quad (2.25)$$

$$L_{total} = 2 \cdot L_s \quad (2.26)$$

Untuk Y_c , X_c , k , p , T_s , dan E_s rumus yang digunakan sama dengan pada tikungan SCS.

2.5.2.2.3 Pemilihan Bentuk Tikungan

Untuk keseragaman perencanaan, Bina Marga menyarankan untuk menggunakan tikungan *Spiral-Circle-Spiral* sebagai dasar perencanaan. Alur pemilihan tikungan yang disarankan oleh Bina Marga terdapat pada Gambar 2.8.



Flowchart 2.1 Alur Pemilihan Jenis Tikungan

2.5.2.2.4 Tikungan Gabungan

Pada perencanaan alinyemen horizontal, kemungkinan akan ada ditemui perencanaan tikungan gabungan karena kondisi topografi pada rute jalan yang akan direncanakan sedemikian rupa sehingga terpaksa (tidak dapat dihindari) harus dilakukan rencana tikungan gabungan, yang terdiri dari tikungan gabungan searah dan tikungan gabungan berbalik.

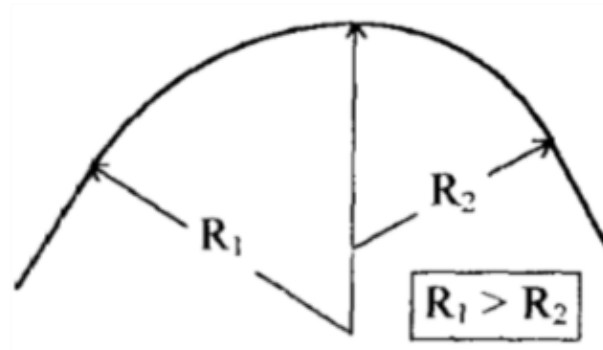
1. Tikungan gabungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran yang sama tetapi dengan jari jari yang berbeda
2. Tikungan gabungan berbalik, yaitu gabungan dua tikungan dengan arah putaran yang berbeda

Penggunaan tikungan gabungan tergantung perbandingan $R1$ dan $R2$:

- a. Tikungan gabungan searah harus dihindarkan, jika :

$$\frac{R1}{R2} > \frac{2}{3}$$

Apabila $R_1 > 1,5 R_2$ tikungan gabungan harus dihindarkan, namun jika terpaksa, dibuat tikungan gabungan dari dua busur lingkaran (FC), disarankan seperti gambar dibawah ini :

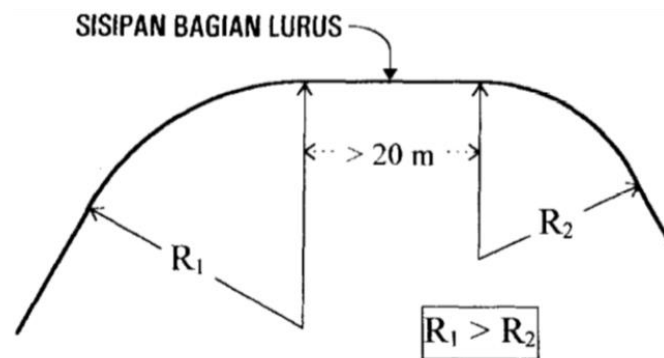


Gambar 2.8 Tikungan Gabungan Searah, $R_1 > 1,5 R_2$

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

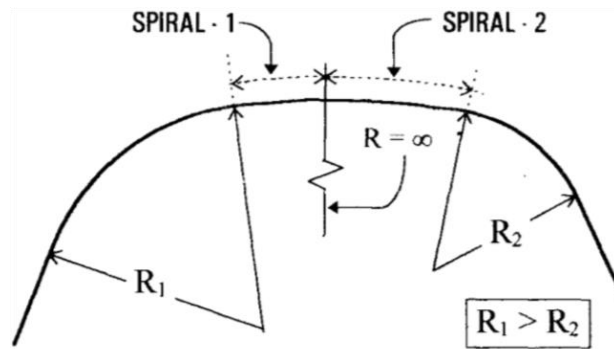
- b. tikungan gabungan harus dilengkapi bagian lurus atau *clothoide* sepanjang paling tidak 20 meter, jika

$$\frac{R_1}{R_2} < \frac{2}{3}$$



Gambar 2.9 Tikungan Gabungan Searah Dengan Sisipan Bagian Lurus

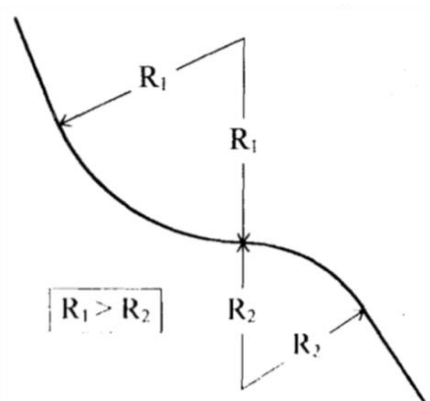
Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2.10 Tikungan Gabungan Searah Dengan Sisipan Bagian Spiral

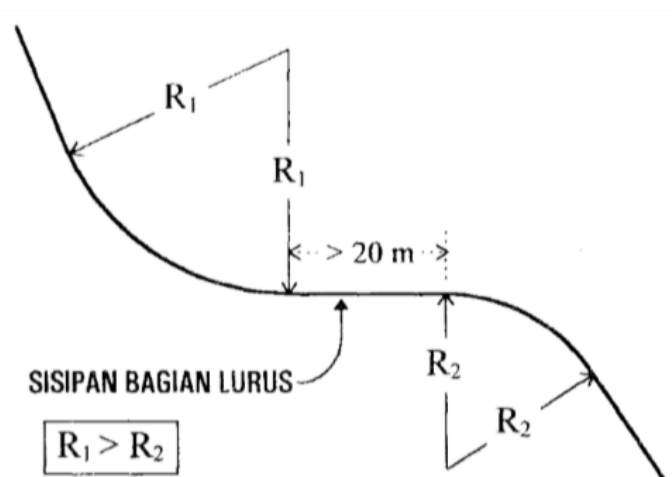
Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

- c. Setiap tikungan gabungan berbalik harus dilengkapi dengan bagian lurus di antara kedua tikungan tersebut sepanjang paling tidak 30 m.



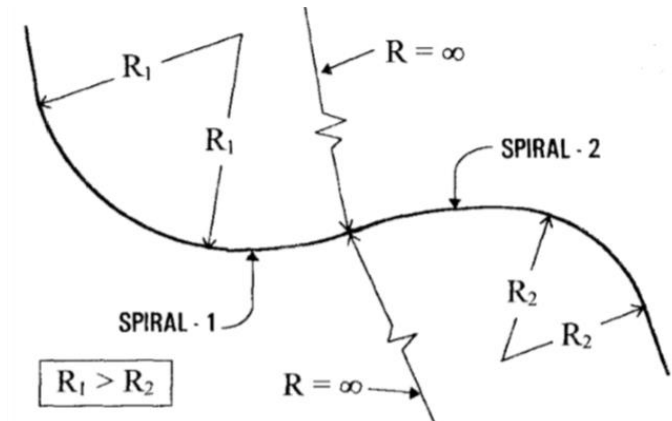
Gambar 2.11 Tikungan Gabungan Berbalik, $R_1 > 1,5 R_2$

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2.12 Tikungan Gabungan Dengan Sisipan Bagian Lurus > 20 M

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2.13 Tikungan Gabungan Dengan Sisipan Bagian Spiral
 Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

2.5.2.2.5 Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan (L_s) berfungsi untuk memberikan kesempatan kepada pengemudi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak hingga) sampai bagian lengkung jalan berjari-jari tetap R . Dengan demikian, gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat melintasi tikungan berubah secara berangsur-angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan.

2.5.2.2.6 Pelebaran Pada Tikungan

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan konsistensi geometrik jalan agar kondisi operasional lalu lintas ditikungan sama dengan dibagian lurus.

$$b'' = Rc - \sqrt{Rc^2 - p^2} \quad (2.27)$$

$$b' = b + b'' \quad (2.28)$$

$$Td = \sqrt{Rc^2 + A(2p + A)} - Rc \quad (2.29)$$

$$Z = 0,105 \cdot \frac{Vr}{\sqrt{Rc}} \quad (2.30)$$

$$B = n(b' + c) + (n - 1)Td + Z \quad (2.31)$$

Keterangan :

B = lebar perkerasan pada tikungan (m)

n = Jumlah lajur lalu lintas

b' = lebar lintasan truck pada tikungan / off tracking (m)

c = kebebasan samping (m)

Td = lebar tambahan pengaruh dari tonjolan depan kendaraan (m)

Z = lebar tambahan akibat kesukaran pengemudi Lebar tambahan perkerasan untuk mengimbangi off tracking (m)

b = lebar kendaraan (m)

P = jarak antara garden kendaraan (m)

A = panjang bagian depan kendaraan diukur dari as depan (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

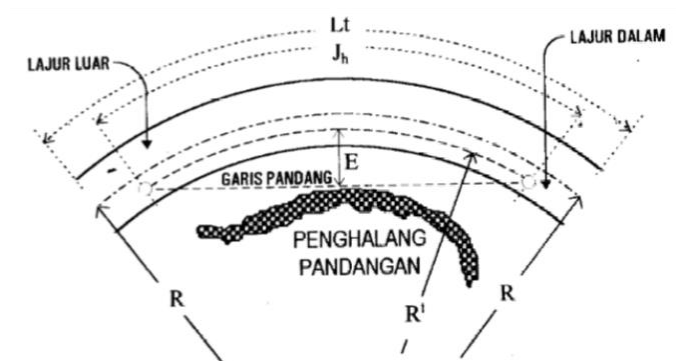
R = jari-jari tikungan (m)

Jika hasil perhitungan pelebaran jalan kurang dari 0,6 m, maka pelebaran dapat diabaikan.

2.5.2.2.7 Kebebasan Samping di Tikungan

Jarak pandang pengemudi pada lengkung horizontal (di tikungan), adalah pandangan bebas pengemudi dari halangan benda-benda di sisi jalan.

1. Daerah bebas samping di tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga J_h dipenuhi.
2. Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh E (m), diukur dari garis tengah lajur dalam sampai obyek penghalang pandangan sehingga persyaratan J_h dipenuhi (lihat Gambar 2,15 dan Gambar 2,16).
3. Daerah bebas samping di tikungan dihitung berdasarkan rumus rumus sebagai berikut :
 - a. Jika $J_h < L_t$



Gambar 2.14 Daerah Bebas Samping di Tikungan (Kondisi $J_h < L_t$)

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Rumus yang digunakan :

$$E = Rc \cdot [1 - \cos(\frac{90 \cdot J_h}{\pi \cdot Rc})] \quad (2.32)$$

Keterangan :

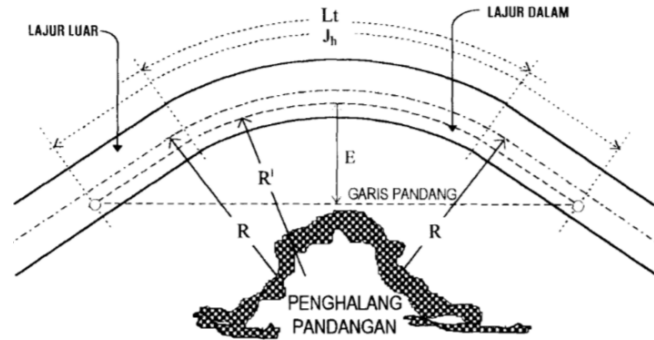
E = Panjang objek penghalang yang harus dihilangkan

R' = Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)

b. Jika $J_h > L_t$:



Gambar 2.15 Daerah Bebas Samping di Tikungan (Kondisi $J_h > L_t$)

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Rumus yang digunakan:

$$E = R_c \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{90 - j_h}{\pi \cdot R_c} \right) \right] + \left[\left(\frac{j_h - L_t}{2} \right) \sin \left(\frac{90 - j_h}{\pi \cdot R_c} \right) \right] \quad (2.33)$$

Keterangan :

E = Panjang objek penghalang yang harus dihilangkan

R' = Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)

2.5.2.3 Landai Relatif

Kemiringan melintang atau kelandaian pada penampang jalan di antara tepi perkerasan luar dan sumbu jalan sepanjang lengkung peralihan disebut landai relative.

$$\frac{1}{m} = \frac{(e + en)B}{Ls} \quad (2.34)$$

Keterangan:

$\frac{1}{m}$ = landai relatif (m)

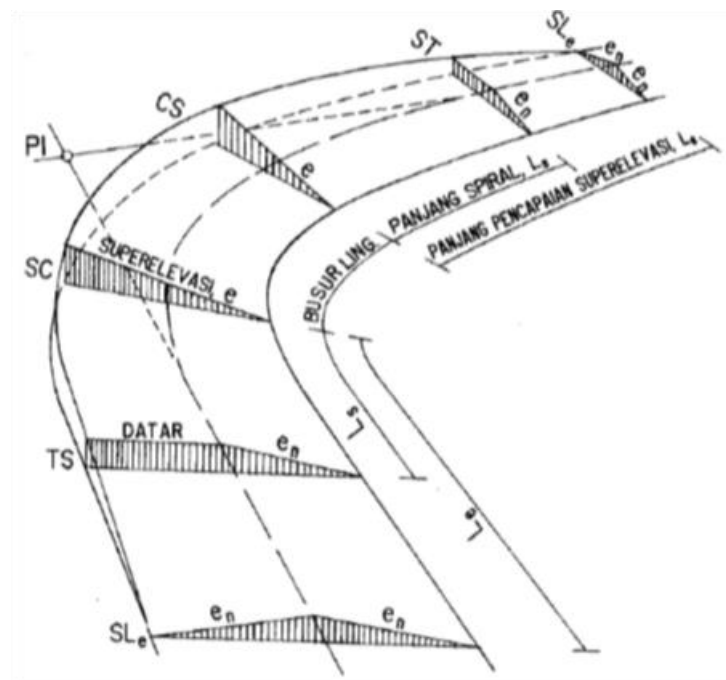
e = superelevasi (%)

en = kemiringan melintang normal (%)

B = lebar lajur (m)

2.5.2.4 Diagram Super Elevasi

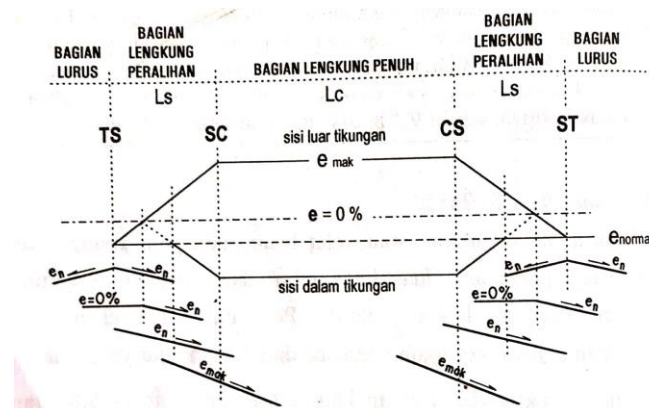
Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan VR.



Gambar 2.16 Perubahan Kemiringan Melintang Pada Tikungan
Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

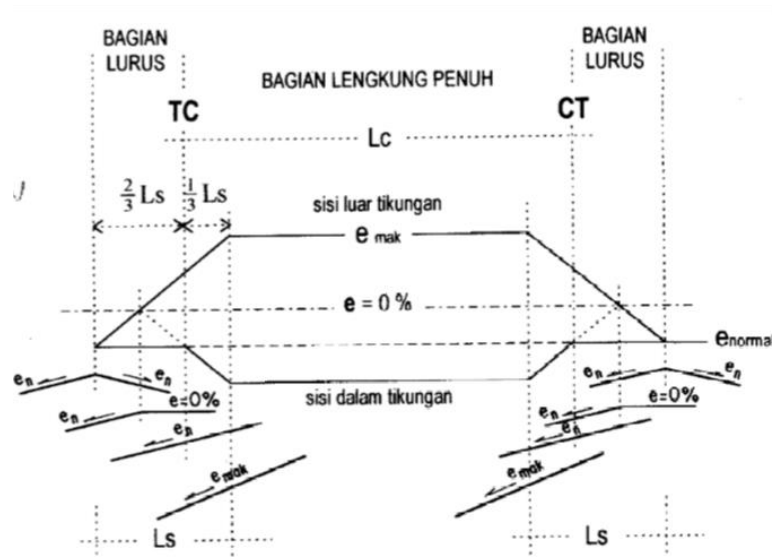
1. Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.
2. Pada tikungan SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear (lihat Gambar 2.17), diawali dari bentuk normal (—) sampai awal lengkung peralihan (TS) yang berbentuk (—) pada bagian lurus jalan, lalu dilanjutkan sampai superelevasi penuh (—) pada akhir bagian lengkung peralihan (SC).
3. Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear (lihat Gambar 2.19), diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3}$ LS sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3}$ bagian panjang LS.
4. Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral. (Lihat Gambar 2.20)
5. Superlevasi tidak diperlukan jika radius (R) cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP), atau bahkan tetep lereng normal (LN).

Diagram superelevasi :



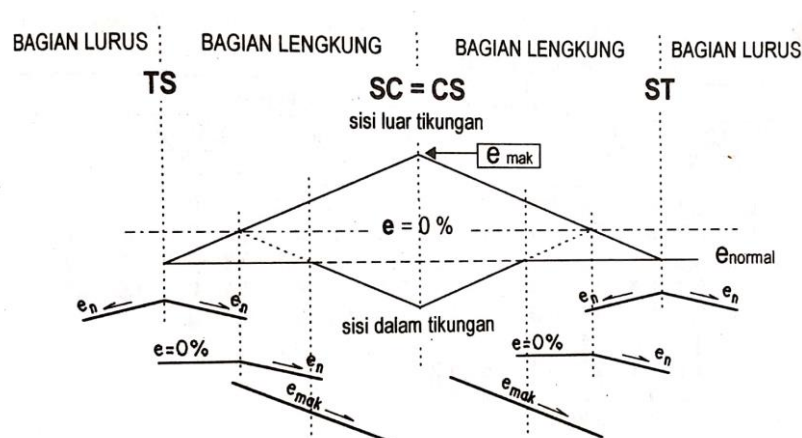
Gambar 2.17 Metoda Pencapaian Superelevasi Pada Tikungan Tipe SCS (Contoh Untuk Tikungan Kekan)

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2.18 Metoda Pencapaian Superelevasi Pada Tikungan Tipe FC (Contoh Untuk Tikungan Ke Kiri)

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2.19 Metoda Pencapaian Superelevasi Pada Tikungan Tipe SS (Contoh Untuk Tikungan Kekananan)

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

2.5.2.5 Stasioning

Titik penting hasil perancangan sumbu jalan perlu dibuat patok-patok dengan nomor kode referensi tertentu. Penomoran ini disebut stationing angka yang mencantumkan menunjukkan jarak atau lokasi titik tersebut terhadap titik acuan. Format umum stationing adalah X+YYY, dimana X menunjukkan besaran kilometer, Y adalah besaran meter.

2.5.3 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perencanaan elevasi sumbu jalan pada setiap titik yang ditinjau, berupa profil memanjang (Hendarsin, S., 2000). Alinyemen vertikal terdiri atas bagian lurus dan bagian lengkung. Ditinjau dari titik awal perencanaan, bagian lurus dapat berupa landai positif (tanjakan), atau landai negatif (turunan), atau landai nol (datar).

2.5.3.1 Kelandaian Pada Alinyemen Vertikal Jalan

2.5.3.1.1 Landai Minimum

Pada jalan yang menggunakan kerb pada tepi perkerasannya. Perlu dibuat kelandaian minimum 0.5 % untuk keperluan kemiringan saluran samping, Karena kemiringan melintang jalan dengan kerb hanya cukup untuk mengalirkan air kesamping.

2.5.3.1.2 Landai Maksimum

1. Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti.
2. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.
3. Kelandaian maksimum untuk berbagai V_R ditetapkan dapat dilihat dalam tabel

2.11

Tabel 2.11 Kelandaian Maksimum Yang Dijinkan

V_R (km/jam)	120	110	100	80	60	50	40	<40
Kelandaian Maks (%)	3	3	4	5	6	8	10	10

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

2.5.3.1.3 Panjang Kritis Dari Suatu Kelandaian

Panjang kritis yaitu panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh VR. Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari satu menit.

Tabel 2.12 memperlihatkan panjang kritis (m) untuk kecepatan pada awal tanjakan 80 dan 60 km/jam.

Tabel 2.12 Panjang Kritis (m)

Kec. Awal Tanjakan (km/jam)	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Apabila pertimbangan biaya pembangunan memaksa, panjang kritis dapat dilampaui, dengan ketentuan bahwa harus ditambahkan jalur pendakian khusus.

2.5.3.1.4 Lajur Pendakian

Pada jalan-jalan berlandai dan volume yang tinggi, seringkali kendaraan-kendaraan berat yang bergerak dengan kecepatan di bawah kecepatan rencana menjadi penghalang kendaraan lain yang bergerak dengan kecepatan sekitar kecepatan rencana. Untuk menghindari hal tersebut perlulah dibuatkan lajur pendakian. Lajur pendakian adalah lajur yang disediakan khusus untuk truk bermuatan berat atau kendaraan lain yang berjalan dengan kecepatan lebih rendah, sehingga kendaraan lain dapat mendahului kendaraan yang lebih lambat tanpa mempergunakan lajur lawan.

2.5.3.2 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian. Panjang lengkung vertikal dapat dihitung dengan berdasarkan kepada beberapa pertimbangan sebagai berikut.

Berdasarkan syarat keluwesan bentuk :

$$L_v = 0,6 \times V \quad (2.35)$$

Berdasarkan syarat drainase :

$$L_v = 40 \times A \quad (2.36)$$

Berdasarkan syarat kenyamanan pengemudi :

$$L_v = V \times t \quad (2.37)$$

Berdasarkan pengurangan goncangan :

$$L_v = \frac{V^2 \times A}{360} \quad L_v \quad (2.38)$$

Keterangan :

L_v = Panjang lengkung vertikal (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

A = Perbedaan grade / kelandaian (%)

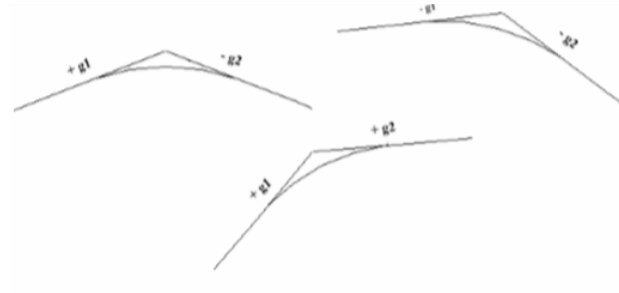
t = ditentukan 3 detik

$$g = \frac{elevasiawal - elevasiakhir}{stasionawal - stasionakhir} \times 100 \quad (2.39)$$

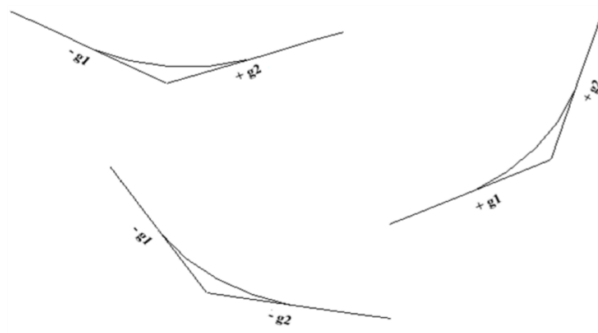
Keterangan :

g = Kemiringan Jalan

2.5.3.2.1 Jenis Lengkung Vertikal



Gambar 2.20 Alinyemen Vertikal Cembung
Sumber : Silvia Sukirman, 1999



Gambar 2.21 Alinyemen Vertikal Cekung
Sumber : Silvia Sukirman, 1999

2.5.3.2.2 Lengkung Vertikal Cembung

Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cembung harus lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung, jika jarak pandang henti lebih kecil maka panjang lengkung vertikal cembung ditetapkan dengan rumus :

a. Panjang L , berdasarkan J_h

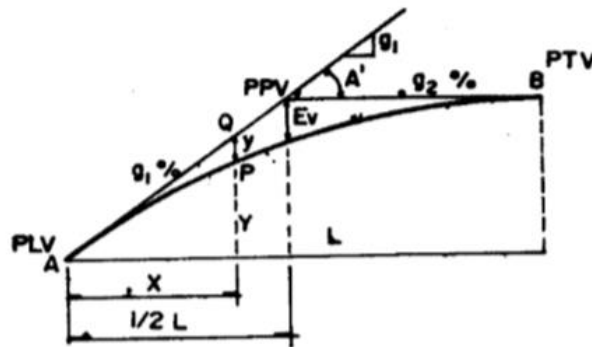
$$J_h < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot J_h^2}{399} \quad (2.40)$$

$$Jh > L, \text{ maka } L = 2 \cdot Jh - \frac{399}{A} \quad (2.41)$$

b. Panjang L, berdasarkan Jd

$$Jd < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot Jd^2}{840} \quad (2.42)$$

$$Jd > L, \text{ maka } L = 2 \cdot Jd - \frac{840}{A} \quad (2.43)$$



Gambar 2.22 Lengkung Vertikal Cembung
Sumber : Silvia Sukirman, 1999

Pada lengkung vertikal cembung, pembatasan berdasarkan jarak pandangan dapat dibedakan atas 2 keadaan yaitu :

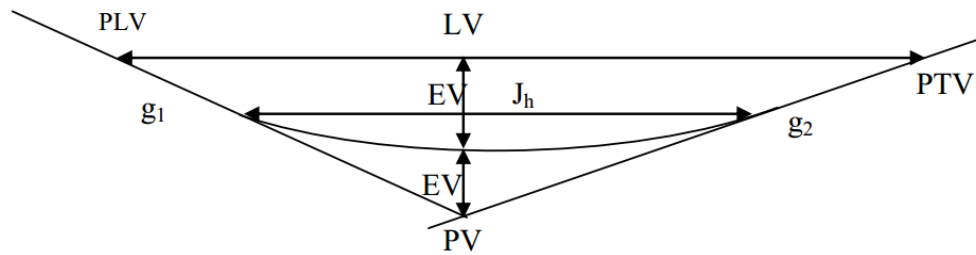
- Jarak pandangan berada seluruhnya dalam daerah lengkung ($Jh < L$).
- Jarak pandangan berada diluar dan di dalam daerah lengkung ($Jh > L$).

2.5.3.2.3 Lengkung Vertikal Cekung

Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cekung harus lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cekung, jika jarak pandang henti lebih besar maka panjang lengkung vertikal cekung ditetapkan dengan rumus :

$$Jh < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot Jh^2}{120 + 3,5 Jh} \quad (2.44)$$

$$Jh > L, \text{ maka } L = 2 \cdot Jh - \frac{120 + 3,5 Jh}{A} \quad (2.45)$$



Gambar 2.23 Lengkung Vertikal Cekung
Sumber : Silvia Sukirman, 1999

Persamaan umum lengkung vertikal :

$$A = g_1 - g_2 \quad (2.46)$$

Ev = Pergeseran vertikal dari titik PPV ke bagian lengkung

$$Ev = \frac{A.Lv}{800} \quad (2.47)$$

$$y = \frac{A}{200Lv} \cdot x^2 \quad (2.48)$$

2.5.3.3 Pekerjaan Galian dan Timbunan

Cara menghitung volume galian maupun timbunan didasarkan dari gambar potongan melintang. Dari gambar-gambar tersebut dapat dihitung luas galian dan timbunan, sedangkan masing-masing jarak antara profil dapat dilihat dari potongan memanjang. Contoh perhitungan galian dan timbunan terdapat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Contoh Perhitungan Galian Dan Timbunan

Titik	Stasion	Luas Penampang Melintang (m2)				Jarak (m)	Volume (m3)	
		Galian	Timbunan	Rata-rata			Galian	Timbunan
				Galian	Timbunan			
1	STA + jarak awal	AG1	AT1			J1	((AG1+AG2)/2)*J1	((AT1+AT2)/2)*J1
				(AG1+AG2)/2	(AT1+AT2)/2			
2	STA + jarak	AG2	AT2					
Total (Σ)						(Σ) Jarak	(Σ) Galian	(Σ) Timbunan

2.6 Perencanaan Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan (Saodang, H., 2005)

Tanah asli di alam jarang sekali dalam kondisi mampu mendukung beban berulang dari lalu-lintas kendaraan tanpa mengalami defonnasi yang besar. Karena itu, dibutuhkan suatu struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan. Struktur ini disebut perkerasan (*pavement*). Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang memisahkan antara ban kendaraan dengan tanah dasar yang berada di bawahnya. Perkerasan berfungsi untuk melindungi tanah-dasar (*subgrade*) dan lapisan-lapisan pembentuk perkerasan supaya tidak mengalami tegangan dan regangan yang berlebihan oleh akibat beban lalu-lintas. Perkerasan harus memberikan permukaan yang rata dengan kekesatan tertentu, dengan umur pelayanan yang cukup panjang, serta pemeliharaan yang minimum.

Perkerasan lentur (*flexibel pavement*) merupakan perkerasan yang terdiri atas beberapa lapis perkerasan. Susunan lapisan perkerasan lentur secara ideal antara lain lapis tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan permukaan (*surface course*) (Syukriadi, R., 2020). Pada perkerasan lentur, beban lalu lintas didistribusikan ke tanah dasar secara berjenjang dan berlapis.

Perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode Pendekatan Mekanistik Empiris dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.



Gambar 2.24 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur

2.6.1 Umur Rencana

Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru. Pemilihan umur rencana dapat dilihat pada

Tabel 2.14 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir.	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
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 Perkerasan 2017

2.6.2 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan sangat bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Hal ini tidak mutlak, perencana juga harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan alat

dan bahan, dan juga kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.15

Tabel 2.15 Pemilihan Jenis Perkerasaan

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 (di atas tanah dengan CBR $\geq$ 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan 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 $\geq$ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1, 2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1, 2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-

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 tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Catatan:

Tingkat Kesulitan:

1. Kontraktor kecil – medium
2. Ntraktor besar dengan sumber daya memadai
3. Membutuhkan keahlian dan tenaga khusus – kontraktor spesialis
burtu/burda

2.6.3 Lalu Lintas

Pengaruh faktor lalu lintas terhadap perencanaan perkerasan jalan sangat besar, baik tebal perkerasan, atau pun pemilihan jenis perkerasan yang akan digunakan.

2.6.3.1 Analisis volume lalu lintas

Salah satu parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan jalan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan selama umur rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang selanjutnya diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

2.6.3.2 Faktor pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia maka dapat menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas pada Tabel 2.16

Tabel 2.16 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (%)

Fungsi Jalan	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

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dengan rumus :

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i} \quad (2.49)$$

Keterangan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan $i_1\%$ selama periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut :

$$R = \frac{(1+0,01.i_1)^{UR}-1}{0,01.i_1} + (1 + 0,01.i_1)^{(UR-1)}(1 + 0,01.i_2)\left\{\frac{(1+0,01.i_2)^{(UR-UR1)}}{0,01.i_2}\right\} \quad (2.50)$$

Keterangan :

i1 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%)

i2 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)

UR1 = umur rencana periode 1 (tahun)

Perhitungan diatas digunakan untuk periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0,85$). Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut :

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{Q}-1}{0,01.i} + (UR - Q)(1 + 0,01.i)^{(Q-1)} \quad (2.51)$$

2.6.3.3 Lalu lintas pada lajur rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 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 : Manual Perkerasan 2017

2.6.3.4 Faktor ekivalen beban (Vehicle damage factor)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila dimungkinkan. Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka untuk menghitung ESA dapat menggunakan nilai VDF pada Tabel 2.18 dan Tabel 2.19.

2.6.3.5 Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, dengan menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga yang ditentukan sebagai berikut :

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2.52)$$

Keterangan :

ESATH-1 = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle) pada tahun pertama.

LHRJK = lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).

VDFJK = Faktor Ekivalen Beban (Vehicle Damage Factor) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah.

DL = Faktor distribusi lajur

CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (*deterioration model*) dan pendekatan desain yang digunakan. Gunakan nilai ESA yang sesuai sebagai input dalam proses perencanaan.

2.6.4 Daya Dukung Tanah

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Secara umum disarankan untuk menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh sangat bervariasi, pendesain harus membandingkan manfaat dan biaya antara pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut.

Dua metode perhitungan CBR karakteristik diuraikan sebagai berikut.

2.6.4.1 Metode distribusi normal standar

Jika tersedia data yang cukup valid (minimum 10 titik data uji per segmen yang seragam) rumus berikut ini dapat digunakan :

$$CBR\ karakteristik = CBR\ rata-rata - f \times deviasi\ standar \quad (2.53)$$

Dengan :

$f = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan.

$f = 1,282$ (probabilitas 90%), untuk jalan kolektor dan arteri.

$f = 0.842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil.

Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan. Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

2.6.4.2 Metode Persentil

Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke “x” dari suatu kumpulan data membagi kumpulan data tersebut dalam dua bagian, yaitu bagian yang mengandung “x” persen data dan bagian yang mengandung $(100 - x)$ persen data.

Nilai CBR yang dipilih adalah adalah nilai persentil ke 10 yang berarti 10% data segmen yang bersangkutan lebih kecil atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut. Atau 90% dari data CBR pada segmen seragam tersebut lebih besar atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut.

Adapun prosedur perhitungan untuk persentil ke – 10 adalah sebagai berikut.

- a. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- b. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- c. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks.
- d. Jika indeks yang diperoleh dari langkah (iii) merupakan bilangan pecahan, lakukan pembulatan ke bilangan terdekat dan lanjutkan ke langkah v(a). Jika indeks yang dihasilkan berupa bilangan bulat, lanjutkan ke langkah v(b).
- e. (a) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR pada urutan tersebut adalah nilai CBR persentil ke – 10.
 (b) Dari kumpulan data yang sudah diurutkan (langkah 1), hitung mulai dari data terkecil hingga mencapai data diurutkan yang diperoleh dari langkah 3. Nilai CBR persentil ke – 10 adalah nilai rata-rata dari dua nilai CBR yaitu CBR pada urutan tersebut dan urutan berikutnya.

Tabel 2.18 Nilai VDF Masing-Masing Kendaraan Niaga Daerah

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal		Beban Aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	11,7	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	8,2	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	13,5	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.19 Nilai Vdf Masing-Masing Kendaraan Niaga

KENDARAAN NIAGA	Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigura si sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban (VDF) (ESA/kendaraan)	
	Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 Pangkat 4	VDF 5 Pangkat 5
	1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
	2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station wagon	1.1		2	51,7			
	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
	6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
	6a.2	6.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
	6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
	6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
	6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigura si sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban (VDF) (ESA/kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 Pangkat 4	VDF 5 Pangkat 5
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a.1	9.1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	3			7,6	11,2
7a.2	9.2	Truk 3 sumbu - sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3	3,9	5,60	28,1	64,4
7a.3	9.3	Truk 3 sumbu - berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu - trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu - trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu - trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.6.5 Pondasi Perkerasan

Pondasi perkerasan tergantung pada jenis tanah yang sudah ada dilokasi perencanaan jalan.

2.6.5.1 Tanah dasar normal

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang secara umum mempunyai nilai CBR in-situ lebih besar dari 2,5%, termasuk pada daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli.

2.6.5.2 Tanah lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal atau sedikit over konsolidasi (*lightly over consolidated*), biasanya berupa tanah lempung atau lempung kelanauan dengan CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) lebih kecil dari 7,5 kPa, dan umumnya $IP > 25$.

Metode khusus diperlukan untuk mempersiapkan fondasi jalan yang memadai di atas tanah terkonsolidasi normal. Metode pemadatan permukaan biasa dan penggunaan pengujian CBR laboratorium tidak valid karena umumnya dalam keadaan jenuh dan tidak dapat dipadatkan secara biasa. Selain itu, apabila dalam keadaan kering, hanya lapis permukaan yang dapat dipadatkan dengan alat pemadat biasa, sedangkan kepadatan dan kekuatan geser lapisan di bawahnya akan tetap rendah pada kondisi jenuh.

Tanah terkonsolidasi normal yang mendapat pembebanan statik dan dinamik akan mengalami pergerakan yang jauh lebih besar (akibat konsolidasi sekunder atau rangkak) dibandingkan tanah dasar normal yang dipadatkan secara mekanik. Oleh

sebab itu penyebab kerusakan yang berbeda berlaku pada jalan yang dibangun di atas tanah lunak.

2.6.5.3 Tanah aluvial kering

Tanah aluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misalnya CBR <2%) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman lapis permukaan tersebut berkisar antara 400 – 600 mm. Metode termudah untuk mengidentifikasi kondisi tersebut adalah menggunakan uji DCP.

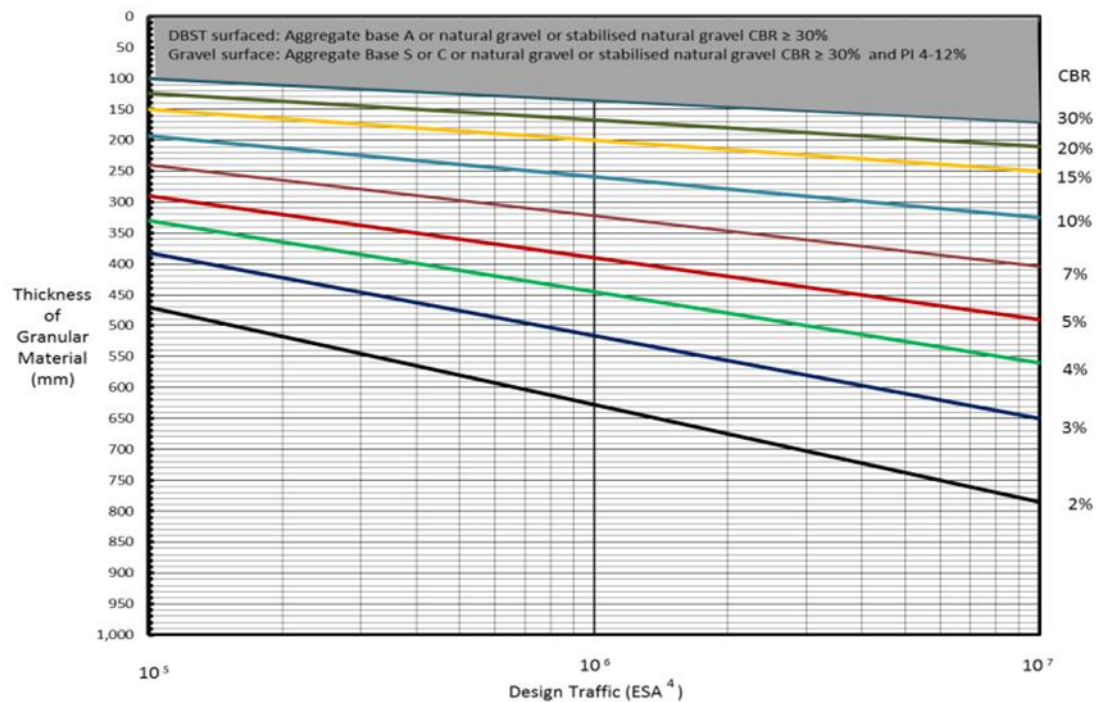
Tabel 2.20 Desain Fondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi Semen
			< 2	2-4	> 4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			
> 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umum, devisi 3 - pekerjaan tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			300
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan diatas tanah lunak	SG1	Lapis penopang	1000	1100	1200	
		atau lapis penopang dan geogrid	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500	

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.6.6 Desain Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terendah ditunjukkan pada Tabel 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, dan 2.30. Kebutuhan pelapisan tanpa aspal jalan dapat dilihat pada Gambar 2.33.



Gambar 2.25 Bagan Desain-7 Perkerasan Tanpa Penutup Beraspal Dan Lapis Beraspal Tipis

Sumber : *Manual Perkerasan 2017*

2.6.7 Ketebalan Lapis Perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan. Ketebalan lapisan yang diizinkan terdapat pada Tabel 2.21

Tabel 2.21 Ketebalan Lapisan Yang Diizinkan Dan Penghamparan

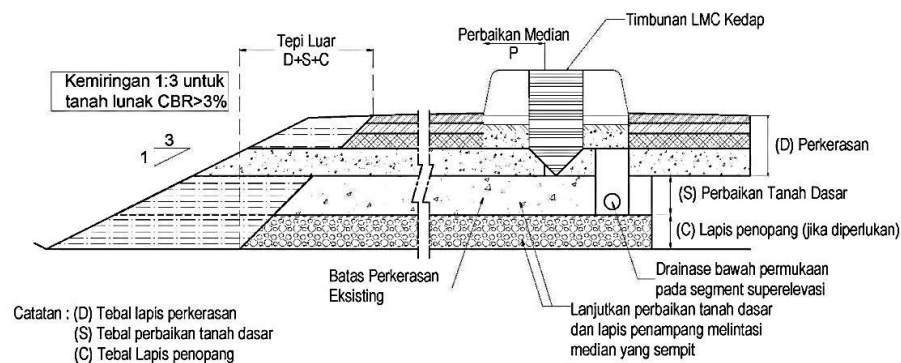
Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30	30 – 50	tidak
HRS Base	35	35 – 50	ya
AC WC	40	40 – 50	tidak
AC BC	60	60 – 80	ya
AC – Base	75	80 – 120	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37.5 mm)	120	150 -200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50 mm)	150	150 – 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	120	125 – 200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC	100	150 – 200	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	100	150 – 200	tidak
Kerikil alam	100	100 – 200	ya

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.6.8 Daya Dukung Tepi Perkerasan

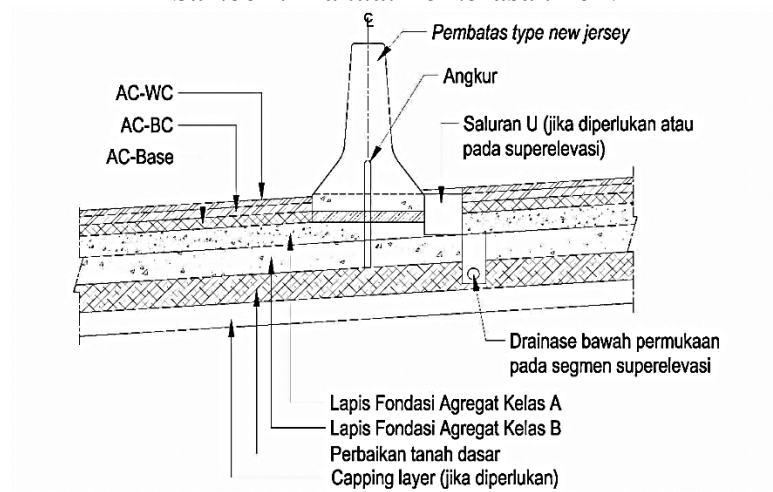
Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama apabila terletak pada tanah lunak atau tanah gembut. Ketentuan minimum adalah sebagai berikut :

1. Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum.
2. Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($\text{CBR} < 2,5\%$) atau tanah gembut harus dipasang pada kemiringan tidak boleh lebih curam dari $1V : 3H$.



Gambar 2.26 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Sumber : Manual Perkerasan 2017



Gambar 2.27 Perkerasan Untuk Jalan Dengan Median

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.22 Bagan desain-3 Desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB

Kriteria	F1	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas dibawah 10 juta ESA5 lihat bagian desain 3A-3B dan 3C	Lihat bagan desain 4 untuk alternatif kaku			
Reptisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur (10ESA)	> 10 - 30	> 30 -35	> 54 -100	> 100 - 200	> 200 -500
Jenis permukaan berpangkat	AC	AC			
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC ATAU AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Fondasi agregat kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.23 Bagan desain-3A Desain perkerasan lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 CESA)	$FF1 < 0,5$	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi makadam	HRS
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA Kelas B atau kerikil alam atau laps distabilisasi dengan CBR > 10%	150	125

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.24 Bagan desain-3B Desain perkerasan lentur-aspal dengan lapis fondasi berbutir

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih					Lihat catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LFA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1		2		3				

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.25 Bagan desain-3C Penyesuaian tebal lapis fondasi agregat A untuk tanah dasar $\text{CBR} \geq 7\%$ (hanya untuk bagan desain-3B)

Kriteria	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	>10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LFA A (mm) PENYESUAIAN TERHADAP BAGAN DESAIN 3B									
Subgrade $\text{CBR} \geq 5,5 - 7$	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade $\text{CBR} \geq 7 - 10$	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade $\text{CBR} \geq 10$	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 15$	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.26 Bagan desain-5 Perkerasan berbutir dengan laburan

Jenis Lapisan Perkerasan	STRUKTUR PERKERASAN				
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4x10)				
	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5 - 4	> 4 - 10	> 10 - 30
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)				
Burda	Ukuran agregat nominal 20 mm				
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	200	250	300	320	340
Lapis Fondasi Agregat Kelas A, atau kelas B, atau kerikil alam, atau stabilisasi dengan CBR > 10%, pada subgrade dengan CBR $\geq$ 5%	100	101	102	103	104

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.27 Bagan desain-6 Perkerasan dengan stabilisasi tanah semen (Soil Cement)

Jenis Lapisan Perkerasan	STRUKTUR PERKERASAN		
	SC1	SC2	SC3
	Beban sumbu 20 tahun pada lajur daerah desain (ESA4 x 10)		
	< 0,1	< 0,1 - 0,5	> 0,5 - 4
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)		
HRS, AC WC (halus), Burtu, atau bunda	50 (campuran beraspal)		
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	160	220	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas A atau B	110	150	200
Tanah distabilisasi (CBR 6% pada tanah dengan $\text{CBR} \geq 3\%$)	160	200	260

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.6.9 Pelapisan Bahu Jalan

Pelapisan bahu jalan terkadang diperlukan dalam beberapa kondisi agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik.

2.6.9.1 Tebal lapis berbutir

Elevasi tanah dasar untuk bahu harus sama dengan elevasi tanah dasar perkerasan atau setidaknya pelaksanaan tanah dasar badan jalan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Untuk memudahkan pelaksanaan, pada umumnya tebal lapis berbutir bahu dibuat sama dengan tebal lapis berbutir perkerasan.

2.6.9.2 Bahu tanpa pengikat

Lapis permukaan harus berupa lapis fondasi agregat kelas S, atau kerikil alam yang memenuhi ketentuan dengan Indeks Plastisitas (IP) antara 4% - 12%. Tebal lapis permukaan bahu LFA kelas S sama dengan tebal lapis beraspal tapi tidak lebih tebal dari 200 mm. Jika tebal lapis beraspal kurang dari 125 mm maka tebal minimum LFA kelas S 125 mm.

2.6.9.3 Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut :

- a. Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb)
- b. Gradien jalan lebih dari 4%
- c. Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi ($\text{superelevasi} \geq 0\%$). Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi yang lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
- d. Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan
- e. Jalan tol dan jalan bebas hambatan

- f. Material bahu diperkeras dapat berupa penetrasi makadam, burtu/burda, beton aspal (AC), beton semen, dan kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan tied shoulder, atau bahu dengan aspal.

2.6.9.4 Lalu lintas untuk desain bahu

Beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan dengan lapis penutup. Pada umumnya, hal ini dapat dipenuhi dengan burda atau penetrasi makadam yang dilaksanakan dengan baik.

2.6.10 Kapasitas Jalan

Penentuan kapasitas jalan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \quad (2.54)$$

dimana

C = Kapasitas

C₀ = Kapasitas dasar (Tabel 2.28)

FC_W = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (Tabel 2.29)

FC_{SP} = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (Tabel 2.30)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian gesekan samping (Tabel 2.31)

Tabel 2.28 Kapasitas Dasar Untuk Jalan Antar Kota Dengan 2 Lajur 2 Arah (2/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan (empat lajur terbagi)	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.29 Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (FC_w) Terhadap Kapasitas

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,00	1,21
	11,00	1,27

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.30 Faktor Penyesuaian Kapasitas Karena Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FCSP	Dua lajur 2/2	1,000	0,970	0,940	0,910	0,880
	Empat lajur 4/2	1,000	0,975	0,950	0,925	0,900

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.31 Kelas Hambatan Samping

Frekwensi hambatan (dari kedua sisi jalan)	Kondisi tipikal	Kelas hambatan samping	
< 50	Pedalaman, pertanian atau daerah tertinggal, hampir tidak ada kegiatan	Sangat rendah	VL
50 - 149	Pedalaman, beberapa bangunan dan aktifitas disisi jalan	Rendah	L
150 - 249	Desa, aktifitas disisi jalan, terdapat angkutan lokal	Sedang	M
250 - 350	Desa, beberapa aktifitas pasar	Tinggi	H
> 350	Hampir berupa perkotaan, terdapat pasar dan aktifitas bisnis lainnya	Sangat tinggi	VH

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Tabel 2.32 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pengaruh Hambatan Samping (FC_{SF})

Jenis jalan	Kelas hambatan	Faktor penyesuaian akibat pengaruh gesekan samping (FC_{SF})			
		$\leq 0,5$	1	1,5	≥ 2
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,95	1,01

2/2 D 4/2 D	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,64	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.7 Perencanaan Drainase

Dalam pemeliharaan jalan, drainase sangat penting diperhatikan. Kondisi drainase yang buruk dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan. Genangan yang terlalu lama di lingkungan perkerasan, menyebabkan tanah atau lapis perkerasan menjadi melunak dan berkurang kekuatannya (Khirzin., 2017)

Perencanaan drainase merupakan salah satu bangunan konstruksi yang berfungsi untuk mengalirkan dan menampung hasil dari limpasan air hujan dari permukaan jalan maupun dari bawah, apabila air hujan tersebut tidak dilimpaskan akan menggenangi badan jalan dan mengganggu keamanan serta kenyamanan pengguna jalan.

2.7.1 Analisis Hidrologi

a. Metode Rata-rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan sekitar daerah yang dianalisis.

$$R = 1/n(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2.55)$$

Keterangan :

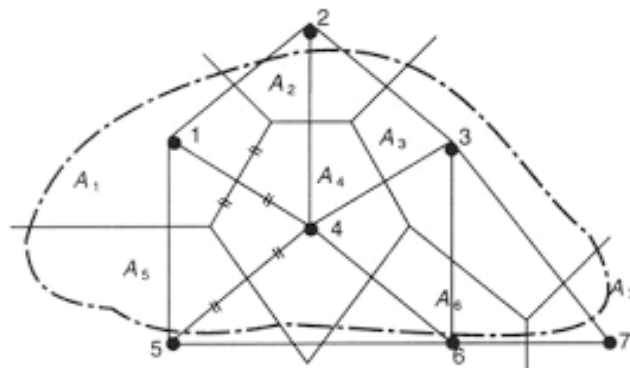
R = Curah hujan daerah

n = jumlah titik atau pos pengamatan

$R_1, R_2, \dots, R_n$ = curah hujan disetiap titik pengamatan

b. Metode Thiessen

Metode thiessen adalah perhitungan curah hujan yang dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan jika titik-titik didalam daerah pengamatan tidak tersebar merata.



Gambar 2.28 *Polygon Thiessen*

$$\bar{R} = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.56)$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

R = hujan di tiap tiap stasiun

A = Luas area dibatasi polygon

c. Metode Isohyet

Metode isohyet adalah cara rasional yang terbaik jika garis-garis isohyet dapat digambar dengan teliti.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1} + 2}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.57)$$

Atau.

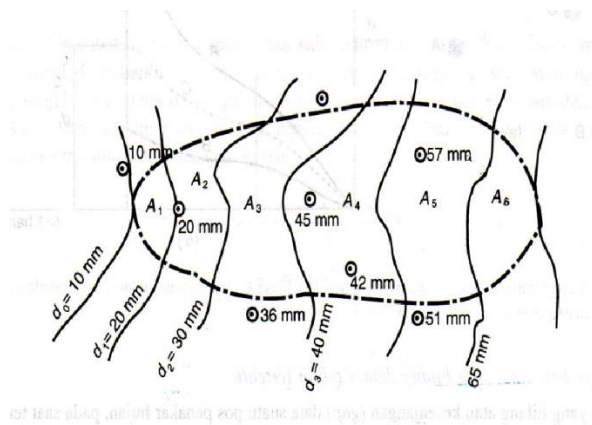
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.58)$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

I = garis isohyet ke i

A = Luas area dibatasi poligon



Gambar 2.29 Metode Isohyet

2.7.2 Analisis Frekuensi

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang akan masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata ($\bar{X}$). Standar deviasi (S_d), koefisien variasi (C_v), koefisien kemiringan / skewness (C_s), dan koefisien kurtosis (C_k). Adapun caranya sebagai berikut :

1. Untuk metode distribusi Gumbel

a. Deviasi Standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.59)$$

Dimana :

S = Standar Daviasi

$\bar{X}$ = Tinggi hujan rata-rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan di tahun ke... (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

b. Koefisien Variasi

$$SCv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.60)$$

Dimana :

C_v = Koefisien variasi

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

S = Standar Daviasi

c. Koefisien Skewness (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.61)$$

Dimana :

C_s = koefisien skewness

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S = Standar Daviasi

d. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \quad (2.62)$$

Dimana :

Ck = Koefisien Kurtosis

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S = Standar Daviasi

2. Analisis frekuensi untuk Log Pearson III dan Log Normal

a. Hujan rata-rata

$$(\text{Log } \bar{X}) = \frac{\sum \text{Log } X_i}{n} \quad (2.63)$$

Dimana :

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

b. Standar Daviasi

$$(S_x) = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.64)$$

Dimana :

S = Standar Daviasi

$\bar{X}$ = Tinggi hujan rata-rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan di tahun ke... (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

c. Nilai Kemencengan untuk log person tipe III

$$C_s = \frac{n \sum (\log(X_i) - \log(\bar{X}))^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} \quad (2.65)$$

Dimana :

C_s = koefisien skewness

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S_x = Standar Daviasi

d. Koefisien Variasi

$$C_v = \frac{S_x}{\log \bar{X}} \quad (2.66)$$

Dimana :

C_v = Koefisien variasi

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata varian

S_x = Standar Daviasi

Analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa macam distribusi, parameter pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.27.

Tabel 2.33 Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^2 = 3$
	$C_k = 5,383$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
Gumble	$C_s \leq 1,1396$
	$C_k \leq 5,4002$
Normal	$C_s = 0$

Jenis Sebaran	Kriteria
	Ck = 3

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

Analisis metode distribusi terdapat beberapa metode diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Gumble

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut:

$$CX_T = \bar{X} + KxSTDEV \quad (2.67)$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[-\ln \frac{T_r-1}{T_r} \right] \quad (2.68)$$

$$K = \frac{Y_{tr}-Y_n}{S_n} \quad (2.69)$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

Y_{tr} = faktor ln dari T_r

Y_n = *reduce mean factor*. Nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.28

S_n = *reduce standard deviation*. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.29

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K = Faktor probabilitas

Tabel 2.34 Nilai Y_n

n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n	n	Y_n
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5572
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,5410	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,5580
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5436	64	0,5533	88	0,5583

n	Yn	n	Yn	n	Yn	n	Yn
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5250	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,5220	43	0,5435	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5550	97	0,5596
26	0,5329	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,6669		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

Tabel 2.35 Nilai Sn

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
10	0,9496	34	1,1255	58	1,1721	82	1,1953
11	0,9676	35	1,1285	59	1,1734	83	1,1959
12	0,9833	36	1,1313	60	1,1747	84	1,1967
13	0,9971	37	1,1339	61	1,1759	85	1,1973
14	1,0095	38	1,1363	62	1,1770	86	1,1980
15	1,0206	39	1,1363	63	1,1782	87	1,1987
16	1,0316	40	1,1413	64	1,1793	88	1,1994
17	1,0493	41	1,1436	65	1,1803	89	1,2001
18	1,0493	42	1,1458	66	1,1814	90	1,2007
19	1,0565	43	1,1480	67	1,1824	91	1,2013
20	1,0628	44	1,1499	68	1,1834	92	1,2020
21	1,0696	45	1,1519	69	1,1844	93	1,2026
22	1,0754	46	1,1538	70	1,1854	94	1,2032
23	1,0811	47	1,1557	71	1,1863	95	1,2038
24	1,0864	48	1,1574	72	1,1873	96	1,2044
25	1,0915	49	1,1590	73	1,1881	97	1,2049
26	1,0961	50	1,1607	74	1,1890	98	1,2055
27	1,1004	51	1,1623	75	1,1898	99	1,2060
28	1,0470	52	1,1638	76	1,1960	100	1,2065
29	1,1086	53	1,1658	77	1,1915		
30	1,1124	54	1,1667	78	1,1923		

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
31	1,1159	55	1,1681	79	1,1930		
32	1,1193	56	1,1696	80	1,1938		
33	1,1226	57	1,1708	81	1,1945		

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

2. Distribusi Normal

Perhitungan dengan distribusi normal secara praktis dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \times STDEV \quad (2.70)$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K_T = Variabel reduksi gauss. Nilai K_T dapat dilihat pada Tabel 2.30

Tabel 2.36 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang	Peluang	K_T
1,001	0,999	- 3,050
1,005	0,995	- 2,580
1,010	0,990	- 2,330
1,050	0,952	- 1,640
1,110	0,901	- 1,280
1,250	0,800	- 0,840
1,330	0,752	- 0,670
1,430	0,699	- 0,520
1,670	0,599	- 0,250
2,000	0,500	0,000

Periode Ulang	Peluang	K _T
2,500	0,400	0,250
3,330	0,300	0,520
4,000	0,250	0,670
5,000	0,200	0,840
10,000	0,100	1,280
20,000	0,050	1,640
50,000	0,020	2,050
100,000	0,010	2,330
200,000	0,005	2,580
500,000	0,002	2,880
1000,000	0,001	3,090

Sumber : Suripin, 2004

3. Distribusi Log Person Tipe III

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K.STDEV \quad (2.71)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K.STDEV)} \quad (2.72)$$

Keterangan :

X_T = CH/intensitas hujan pada T_r

K = faktor frekuensi (tabel nilai K_T untuk distribusi log pearson III),
nilai K_T ini tergantung dari koefisien kemencengan (skewness) dan
probabilitasnya terdapat pada Tabel 2.41

STDEV = Standard deviation

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

4. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K_T.STDEV \quad (2.73)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K_T.STDEV)} \quad (2.74)$$

Keterangan :

K_T = Variabel reduksi gauss, terdapat pada Tabel 2.38.

2.7.3 Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

1. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_f - E_f)^2}{E_f} \quad (2.75)$$

$$K = 1 + 3,322xLog(n) \quad (2.76)$$

$$Dk = K - (p + 1) \quad (2.77)$$

Keterangan :

Chi^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.

n = Jumlah sub kelompok.

Dk = Derajat kebebasan.

p = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

K = Jumlah kelas distribusi.

Jika Chi^2 terhitung $< Chi^2$ Kritis, maka metode distribusi dapat diterima.

Harga kritis Chi-Square terdapat pada Tabel 2.32.

2. Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk setiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat berbeda (D). Perbedaan maksimum yang dihitung (Dmaks) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Dcr) untuk satu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu.

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (2.78)$$

Keterangan :

P = probabilitas

m = nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = banyaknya data

Jika (Dmaks) < (Dcr) maka sebaran sesuai dan dapat diterima. Harga kritis kolmogorov-smirnov terdapat pada Tabel 2.31.

Tabel 2.37 Harga Kritis *Smirnov-Kolmogorov*

n	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23

> 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$
--------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

Sumber : SNI 2415:2016

2.7.4 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas - Durasi - Frekuensi (IDF = *Intensity - Duration - Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jam untuk membentuk lengkung IDF.

Menentukan Intensitas Hujan dengan Menggunakan Metode mononobe Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.1) \quad (2.79)$$

Keterangan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R24 = curah hujan maksimum harian (mm)

2.7.5 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat saluran (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi.

$$tc = t_1 + t_2 \quad (2.80)$$

$$It_1 = \left(\frac{2}{3} \cdot x3,28xIox \frac{nd}{\sqrt{i_s}} \right)^{0,167} \quad (2.81)$$

$$t_2 = \frac{L}{60xV} \quad (2.82)$$

Keterangan :

t_c = Waktu konsentrasi (menit)

t_1 = Waktu untuk mencapai saluran dari titik terjauh (menit)

t_2 = Waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit)

I_o = Jarak dari titik terjauh kefasilitas drainase (m)

i_s = Kemiringan daerah pengaliran, dapat dilihat pada Tabel 2.38

L = Panjang saluran

V = Kecepatan air rata-rata (m/dt), dapat dilihat pada Tabel 2.39

N_d = Koefisien kekasaran N_d , dapat dilihat pada Tabel 2.40

Tabel 2.38 Kemiringan Satuan Memanjang (I_s) Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	kemiringan saluran (i_s %)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5 – 7,5
3	Pasangan	7,5

Sumber : Pd. T-02-2006-B

Tabel 2.39 Kemiringan Rata-Rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-Rata

Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
< 1	0,4
1 sampai < 2	0,6
2 sampai < 4	0,9
4 sampai < 6	1,2

Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

Sumber : Hasmar, Halim., 2011

Tabel 2.40 Koefisien Hambatan (Nd) Berdasarkan Kondisi Permukaan

No	Kondisi lapisan permukaan	Nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,02
3	Permukaan licin dan kokoh	0,1
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
5	Padang rumput dan rerumputan	0,4
6	Hutan gundul	0,6
7	Hutan rimbum dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

Sumber : Pd. T-02-2006-B

2.7.6 Koefisien Pengaliran

Bila daerah pengaliran terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C berbeda, harga C rata-rata ditentukan dengan persamaan :

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3+...+Cn.An.fk}{A1+A2+A3+...+An} \quad (2.83)$$

Keterangan :

A1,A2,A3 = Luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan

C1,C2,C3 = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

fk = Faktor limpasan

Harga koefisien pengaliran (C) dan harga faktor limpasan (fk) dapat dilihat pada Tabel 2.41.

Tabel 2.41 Harga Koefisien Pengaliran (C) Dan Faktor Limpasan (fk)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	bahan		
1	jalan beton & jalan aspal	0,70 – 0,95	
2	jalan kerikil & jalan tanah	0,40 – 0,70	
3	bahu jalan :		
	tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	
	tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	
	batuan masif keras	0,70 – 0,85	
	batuan masif lunak	0,60 – 0,75	
4	tata guna lahan :		
	daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2
	daerah pinggir kota	0,60 – 0,70	1,5
	daerah industry	0,60 – 0,90	1,2
	permukiman padat	0,40 – 0,60	2
	permukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1,5
	taman dan kebun	0,20 – 0,40	0,2
	persawahan	0,45 – 0,60	0,5
	perbukitan	0,70 – 0,80	0,4
	pegunungan	0,75 – 0,90	0,3

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.7.7 Debit Puncak Aliran

Menghitung debit puncak aliran dapat menggunakan metode rasional praktis. Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis, berlaku untuk luas DAS kurang dari 300 hektar.

$$Q_r = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.84)$$

Keterangan :

Q_r = debit rencana (m³/detik)

C = koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)

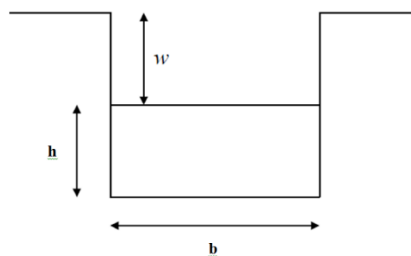
I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas DAS (ha)

0,00278 = Faktor konversi dari mm³/jam menjadi m³/det. ($0.001 \text{ m}^3/3600 \text{ det} \times 10000 \text{ m}^2 \text{ (ha)}$).

2.7.8 Dimensi Saluran

Penentuan dimensi saluran harus sesuai dengan kebutuhan, sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi ekonomis. Bentuk saluran drainase yang umum digunakan adalah bentuk saluran persegi.



Gambar 2.30 Bentuk Saluran Persegi

Adapun langkah-langkah dalam menentukan dimensi saluran bentuk persegi adalah sebagai berikut :

1. Menentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran, dan kemiringan saluran yang diijinkan. Harga koefisien *manning* (n) dapat dilihat pada Tabel 2.24.
2. Menentukan kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diijinkan.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_s^{\frac{1}{2}} \quad (2.85)$$

3. Menentukan tinggi jagaan (W) dan lebar saluran (b), kemudian menghitung jari-jari hidrolis (R), tinggi muka air (h), dan debit saluran (Qs).

$$R = \frac{A}{P} = \frac{bxh}{b + 2h} \quad (2.86)$$

$$h = \frac{W^2}{0.5} \quad (2.87)$$

$$Qs = AxV \quad (2.88)$$

Keterangan :

W = tinggi jagaan (m)

h = kedalaman air yang tergenang dalarn saluran (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang basah (m²)

P = keliling basah (m)

Qr = debit banjir rencana

Qs = debit saluran

4. $Q_s < Q_r$, maka dimensi saluran dapat diterima, jika tidak maka perhitungan dimensi saluran harus diulang.

2.8 Perencanaan Rencana Anggaran Biaya

RAB adalah Suatu acuan atau metode penyajian rencana biaya yang harus dikeluarkan dari awal pekerjaan dimulai hingga pekerjaan tersebut selesai dikerjakan. Rencana biaya harus mencakup dari keseluruhan kebutuhan pekerjaan tersebut, baik itu biaya material atau bahan yang diperlukan, biaya alat (Sewa atau beli), Upah Pekerja, dan biaya lainnya yang diperlukan .

Perencanaan RAB ini menetapkan langkah-langkah menghitung harga satuan dasar (HSD) upah tenaga kerja, HSD alat dan HSD bahan, yang selanjutnya menghitung harga satuan pekerjaan (HSP) sebagai bagian dari harga perkiraan sendiri (HPS), dapat digunakan pula untuk menganalisis harga perkiraan perencanaan (HPP) untuk penanganan pekerjaan bidang pekerjaan umum.

Untuk menentukan besarnya biaya yang diperlukan terlebih dahulu harus diketahui volume dari pekerjaan yang direncanakan. Besarnya volume galian dan timbunan dapat dilihat melalui gambar potongan melintang.

Kuantitas pekerjaan dapat ditentukan melalui pengukuran pada obyek dalam gambar (dengan memperhatikan skala) maupun langsung pada obyek sesungguhnya di lapangan, maka digunakan metode luas penampang rata-rata dengan menganggap sisi-sisi dari bidang ruang diukur berbentuk garis lurus (Gufron, A., 2018)

2.8.1 Harga Satuan Dasar Tenaga Kerja

Komponen tenaga kerja berupa upah yang digunakan dalam mata pembayaran tergantung pada jenis pekerjaannya. Faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar tenaga kerja antara lain jumlah tenaga kerja dan tingkat keahlian tenaga kerja. Penetapan jumlah dan keahlian tenaga kerja mengikuti produktivitas peralatan utama.

Biaya tenaga kerja standar dapat dibayar dalam sistem hari orang standar atau jam orang standar. Besarnya sangat dipengaruhi oleh jenis pekerjaan dan lokasi pekerjaan. Secara lebih rinci faktor tersebut dipengaruhi antara lain oleh:

- Keahlian tenaga kerja,
- Jumlah tenaga kerja,
- Faktor kesulitan pekerjaan,
- Ketersediaan peralatan,
- Pengaruh lamanya kerja, dan
- Pengaruh tingkat ketersediaan tenaga kerja.

Dalam sistem pengupahan digunakan satu satuan upah berupa standar orang hari yang disingkat orang hari (OH), yaitu sama dengan upah pekerjaan dalam 1 hari kerja (8 jam kerja termasuk 1 jam istirahat atau disesuaikan dengan kondisi setempat). Sumber data harga standar upah berdasarkan standar yang ditetapkan Gubernur/Bupati/Walikota.

2.8.1.1 Kualifikasi Tenaga Kerja

Dalam pelaksanaan pekerjaan umum diperlukan keterampilan yang memadai untuk dapat melaksanakan suatu jenis pekerjaan. Tenaga kerja yang terlibat dalam suatu jenis pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 2.42.

Tabel 2.42 Kodefikasi Tenaga Kerja

No	Tenaga Kerja	Kode
1	Pekerja	L.01
2	Tukang	L.02
	Tukang gali	
	Tukang batu/tembok	
	Tukang kayu	
	Tukang besi/besi beton	
	Tukang cat/pelitur	
	Tukang pipa/operator pompa	
	Tukang penganyam bronjong	
	Tukang tebas	
	Tukang las	
3	Kepala tukang	L.03
4	Mandor	L.04
5	Juru ukur	L.05
6	Pembantu juru ukur	L.06
7	Mekanik alat berat	L.07
8	Operator alat berat	L.08
9	Pembantu operator	L.09

10	Supir truk	L.10
11	Kenek truk	L.11
12	Juru gambar (drafter)	L.12
13	Operator Printer/plotter	L.13
14	Tenaga ahli utama	L.14
	Tenaga ahli madya	
	Tenaga ahli muda	
	Tenaga ahli pratama	
15	Narasumber pejabat eselon	L.15
16	Narasumber Praktisi	L.16
17	Lainnya	L.17

Sumber : Permen No. 28/PRT/M/2016

2.8.1.2 Koefisien dan Jumlah Tenaga Kerja

Jumlah jam kerja merupakan koefisien tenaga kerja atau kuantitas jam kerja per satuan pengukuran. Koefisien ini adalah faktor yang menunjukkan lamanya pelaksanaan dari tenaga kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan satu satuan volume pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi koefisien tenaga kerja antara lain jumlah tenaga kerja dan tingkat keahlian tenaga kerja. Penetapan jumlah dan keahlian tenaga kerja mengikuti produktivitas peralatan utama.

Jumlah tenaga kerja tersebut adalah relatif tergantung dari beban kerja utama produk yang dianalisis. Jumlah total waktu digunakan sebagai dasar menghitung jumlah pekerja yang digunakan.

2.8.2 Harga Satuan Dasar Alat

Untuk jenis pekerjaan tertentu, kebutuhan alat sudah melekat dimiliki oleh tenaga kerjanya karena umumnya pekerjaan dilaksanakan secara manual (misal cangkul, sekop, palu, dan lain-lain). Untuk pekerjaan yang memerlukan alat berat, misal untuk pemancangan, penyediaan alat dilakukan berdasarkan sistem sewa.

Jenis peralatan yang dipergunakan misalnya, Backhoe Excavator, Asphalt Mixing Plant (AMP) dan sebagainya. Jenis alat yang diperlukan dalam suatu mata pembayaran disesuaikan dengan ketentuan yang tercantum dalam spesifikasi teknis. Berbagai jenis peralatan telah dibuat untuk dipakai pada pekerjaan-pekerjaan tertentu.

2.8.2.1 Jam Kerja Alat Per Tahun

Pada peralatan yang bermesin, jam kerja peralatan atau jam pemakaian peralatan akan dihitung dan dicatat sejak mesin dihidupkan sampai mesin dimatikan. Selama waktu (jam) pelaksanaan kegiatan pekerjaan maka peralatan tetap dihidupkan, untuk peralatan tidak bermesin maka jam pemakaiannya sama dengan jam pelaksanaan kegiatan pekerjaan.

2.8.2.2 Waktu Siklus

Dalam penggunaan alat dikenal juga waktu siklus, yaitu waktu yang diperlukan alat untuk beroperasi pada pekerjaan yang sama secara berulang. Waktu siklus ini akan berpengaruh terhadap kapasitas produksi dan koefisien alat. Waktu siklus produksi adalah rangkaian aktivitas suatu pekerjaan dan operasi pemrosesan sampai mencapai suatu tujuan atau hasil yang terus terjadi, berkaitan dengan pembuatan suatu produk.

Rumus Waktu siklus,

$$Ts = T1 + T2 + T3 + T4 \quad (2.89)$$

2.8.2.3 Harga Satuan Dasar Bahan

Faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar bahan antara lain adalah kualitas, kuantitas, dan lokasi asal bahan. Faktor-faktor yang berkaitan dengan kuantitas dan kualitas bahan harus ditetapkan dengan mengacu pada spesifikasi yang berlaku.

Data harga satuan dasar bahan dalam perhitungan analisis ini berfungsi untuk kontrol terhadap harga penawaran penyedia jasa. Harga satuan dasar bahan dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu :

- Harga satuan dasar bahan baku, misal: batu, pasir, semen, baja tulangan, dan lain-lain.
- Harga satuan dasar bahan olahan, misal: agregat kasar dan agregat halus, campuran beton semen, campuran beraspal, dan lain-lain.
- Harga satuan dasar bahan jadi, misal tiang pancang beton pracetak, panel pracetak, geosintetik dan lain-lain.

2.8.3 Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan (HSP) setiap mata pembayaran merupakan luaran (*output*), yang diperoleh melalui suatu proses perhitungan dan masukan masukan. Dalam hal ini, masukan yang dimaksud antara lain berupa asumsi, urutan pekerjaan, serta penggunaan upah, bahan dan alat. Harga satuan dasar upah, bahan, dan alat akan menentukan harga satuan pekerjaan. Berdasarkan masukan tersebut dilakukan

perhitungan untuk menentukan koefisien bahan, koefisien alat dan koefisien upah tenaga kerja.

Sifat pekerjaan untuk pekerjaan jalan dan jembatan pada umumnya dilaksanakan secara mekanis. Beberapa bagian pekerjaan yang volumenya relatif sedikit, atau yang sulit dijangkau oleh peralatan berat dilakukan secara manual dengan peralatan kecil dan tenaga manusia.

Tabel 2.43 Contoh Harga Satuan Pekerjaan

o	Uraian	Satuan	Perkiraan Koefisien	Koefisien Harga satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
	Tenaga				
	Pekerja (L.01)	Jam	0,0511	4.657,31	237,99
	Mandor (L.03)	Jam	0,0256	7.281,29	186,04
	Jumlah Harga Tenaga				424,03
	Bahan				
	Jumlah Harga Tenaga				0,00
	Peralatan				
	Excavator	Jam	0,0256	383.294,39	9.793,3
	Dump Truck	Jam	0,3344	212.812,53	71.155,64
	Alat Bantu	Ls	1,0	0,00	0,00
	Jumlah Harga Tenaga				80.948,90
	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, Dan Peralatan (A+B+C)				81.373,93

	Overhead & Profit 15 % X D	12.206,94
	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)	93.578,87

Sumber : Permen No. 28/PRT/M/2016

2.9 Perencanaan Jembatan

Jembatan merupakan bagian yang penting dalam suatu jaringan jalan, jembatan adalah salah satu infrastruktur yang diperlukan untuk keberlangsungan kegiatan ekonomi dan sosial suatu daerah atau wilayah. Kegiatan ekonomi dan social dapat berjalan dengan baik apabila kondisi infrastruktur yang ada juga dalam keadaan baik. Jadi infrastruktur mempengaruhi kualitas kegiatan ekonomi sosial (Ikhsan 2019).

2.9.1 Klasifikasi Jembatan

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga Kementrian PUPR ditinjau dari berbagai aspek, jembatan diklasifikasikan atas :

1. Ditinjau dari kelas, jembatan dibedakan, menjadi:
 - a. Jembatan Permanen Kelas A
 - b. Jembatan Permanen Kelas B
 - c. Jembatan Permanen Kelas C
2. Ditinjau dari material yang digunakan, jembatan dibedakan, menjadi :
 - a. Jembatan kayu
 - b. Jembatan gelagar baja
 - c. Jembatan beton bertulang
 - d. Jembatan komposit
3. Ditinjau dari analisa struktur konstruksi, jembatan dibedakan menjadi:
 - a. Jembatan statis tertentu

- b. Jembatan statis tak tentu
4. Ditinjau dari fungsi atau kegunaannya, jembatan dibedakan menjadi:
 - a. Jembatan untuk lalu lintas kereta api
 - b. Jembatan untuk lalu lintas biasa atau umum
 - c. Jembatan untuk pejalan kaki
 - d. Jembatan berfungsi ganda
 - e. Jembatan khusus,
 5. Ditinjau menurut sifat-sifatnya, jembatan dibedakan menjadi:
 - a. Jembatan sementara atau darurat
 - b. Jembatan tetap atau permanen
 - c. Jembatan bergerak,
 6. Ditinjau dari bentuk struktur konstruksi, jembatan dibedakan menjadi:
 - a. Jembatan gelagar biasa
 - b. Jembatan portal
 - c. Jembatan rangka
 - d. Jembatan gantung
 - e. Jembatan kabel penahan

2.9.2 Bagian Struktur Jembatan

Jembatan berdiri karena adanya komponen-komponen strukturnya. Komponen struktur yang baik dan sesuai dengan ketentuan perencanaan jembatan mampu berfungsi dengan baik sesuai dengan kegunaannya dan mampu memikul beban-beban yang ada. Struktur jembatan terbagi dalam dua bagian, diantaranya yaitu struktur atas (*upperstructure*) dan struktur bawah jembatan (*substructure*). Struktur atas dan bawah jembatan merupakan penghantar beban lalu lintas ke tanah.

a. Struktur atas (*upperstructure*)

Struktur atas jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang secara langsung menahan beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas kendaraan, manusia dan lain-lain, untuk selanjutnya disalurkan kepada bangunan bawah jembatan. Bagian-bagian pada struktur bangunan atas jembatan terdiri atas struktur utama, sistem lantai, sistem perletakan dan perlengkapan lainnya seperti bangunan pengaman jembatan. Struktur utama bangunan atas jembatan dapat berbentuk pelat, gelagar, sistem rangka, gantung, jembatan kabel (*cable stayed*) atau pelengkung.

b. Struktur bawah (*substructure*)

Adalah bagian dari struktur jembatan yang umumnya terletak di sebelah bawah bangunan atas dengan fungsi untuk menerima dan memikul beban dari bangunan atas agar dapat disalurkan kepada Fondasi. Bangunan bawah dibagi menjadi dua bagian yaitu kepala jembatan (*abutment*) atau pilar (*Pier*) dan Fondasi untuk kepala jembatan atau pilar. Struktur bangunan bawah perlu didesain khusus sesuai dengan jenis kekuatan tanah dasar dan elevasi jembatan.

2.9.3 Beton Prategang

2.9.3.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Salah satu definisi terbaik mengenai beton prategang diberikan oleh Komisi ACI. Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal (T.Y. Lin dan Burns, 1982).

Menurut T.Y. Lin dan Burns (1982), Ada tiga kosep dasar yang dipakai untuk menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang, yaitu :

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.
2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.
3. Sistem Prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

2.9.3.2 Sistem Prategang

Ada beberapa macam sistem beton prategang ditinjau dari berbagai segi :

1. Keadaaan distribusi tegangan pada beton

Ditinjau dari keadaaan distribusi tegangan pada beton, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni:

a. *Full Prestressing*

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekan pada seluruh tampang. Secara teoritis sistem ini tidak memerlukan tulangan pasif.

b. *Partial Prestressing*

Dalam memikul beban, kabel baja prategang bekerja bersama dengan tulangan pasif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih daktail.

2. Cara penarikan baja prategang

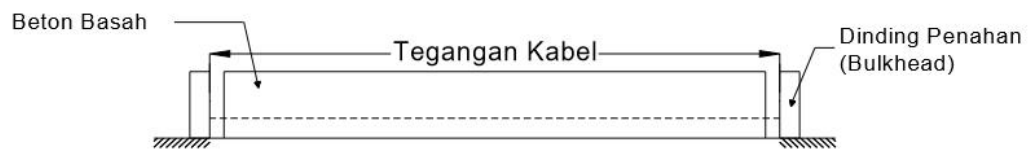
Ditinjau dari cara penarikan baja prategangnya, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni :

a. Pratarik (*Pre-Tensioning*)

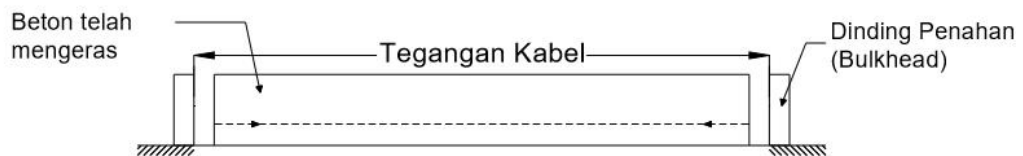
Pada metode penegangan pratarik, kabel/strands prategang diberi gaya dan ditarik lebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran beton dalam perangkat cetakan yang telah disiapkan. Setelah beton cukup keras, penjangkaran dilepas dan terjadi pelimpahan gaya tarik baja menjadi gaya tekan pada beton.



(a) Kabel ditarik di antara angkur penahan



(b) Acuan dipasang dan beton dicor di dalamnya



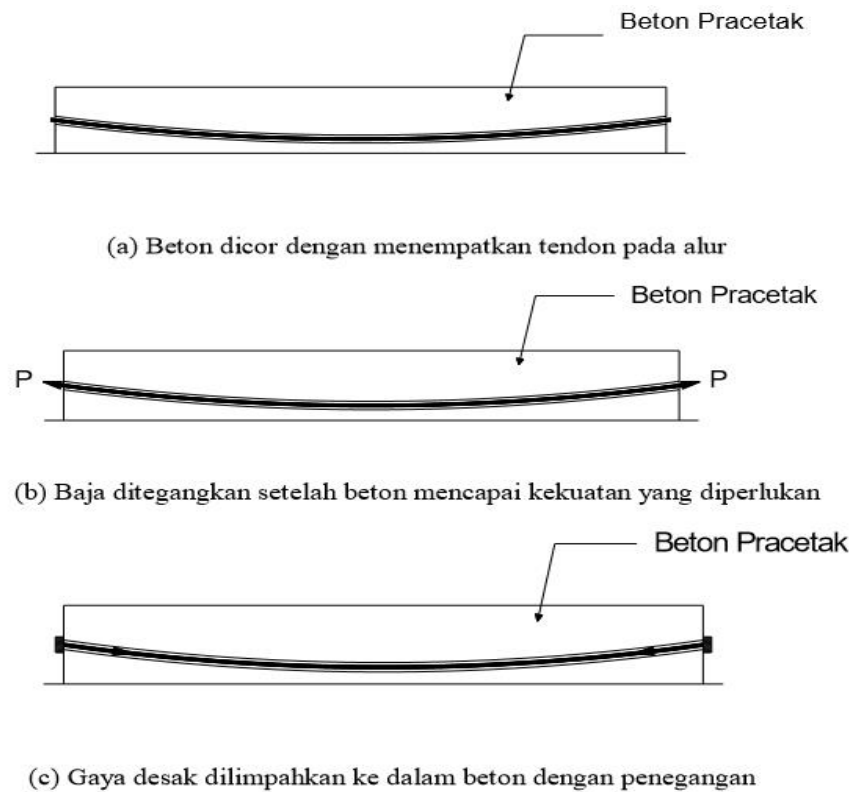
(c) Gaya dilimpahkan ke dalam beton

Gambar 2.31 Sistem Penegangan Pratarik (Pre-Tensioning)

Sumber : Buku ajar Struktur beton prategang

b. Pascatarik (Post-Tensioning)

Pada metode ini beton lebih dahulu dicetak dengan disiapkan lubang (*duct*) atau alur untuk penempatan *cable/strands*. Apabila beton sudah cukup kuat, kemudian *cable/strands* ditarik, ujung-ujungnya diangkurkan, selanjutnya lubang di-*grouting*.



Gambar 2.32 Sistem Penegangan Pascatarik (Post-Tensioning)

Sumber : Buku ajar Struktur beton prategang

2.9.3.3 Posisi Penempatan Kabel

Ditinjau dari posisi penempatan kabel, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni :

1. *Internal Prestressing*

Kabel prategang ditempatkan di dalam tampang beton.

2. *External Prestressing*

Kabel prategang ditempatkan di luar tampang beton.

a. Penempatan kabel

Ditinjau dari posisi penempatan kabel, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni:

1. *Bonded Tendon*

Setelah penarikan kabel, dilakukan *grouting* atau *injeksi* pasta semen ke dalam selubung kabel. Setelah bahan *grouting* mengeras terjadilah lekatan antara tendon dan beton di sekelilingnya.

2. *Unbounded Tendon*

Kabel prategang hanya dibungkus agar tidak terjadi lekatan dengan beton.

b. Bentuk geometri lintasan kabel

Ditinjau dari bentuk geometri lintasan kabel, sistem beton prategang dibagi atas 3 macam yakni :

1. Lengkung, biasanya digunakan pada sistem pascatarik (*post-tensioning*).
2. Lurus, banyak dijumpai pada sistem pratarik (*pre-tensioning*).
3. Patah, dijumpai pada sistem balok pracetak.

2.9.3.4 *Precast Concrete I Girder (PCI)*

Precast Concrete (PCI) Girder adalah balok *girder* berupa beton prategang sistem *post tensioning*, dimana bentuk penampangnya adalah berupa I. *PCI Girder* ini didesain sesuai dengan acuan peraturan perencanaan balok prategang. Pemilihan *PCI Girder* ini dikarenakan dengan menggunakan desain ini dapat mengefisiensikan biaya pada perencanaan pada jembatan ini.

2.9.3.5 Tahapan Pembebanan

Pembebanan tahap awal merupakan pemberian gaya prategang terhadap girder tetapi belum dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini dapat dibagi dalam beberapa tahap :

1. Tahap Awal

- a. Sebelum diberi gaya prategang

Pada masa sebelum diberi gaya prategang, beton girder masih lemah dalam memikul beban, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada ujung girder. Harus diperhitungkan susut beton, dan retakan yang timbul akibat susut tersebut. *Curing* beton harus diperhitiungkan sebelum peralihan gaya prategang.

b. Pada saat diberi gaya prategang

Besarnya gaya prategang yang bekerja pada tendon saat proses *stressing* dapat membuat kabel *strand* putus jika pemberian gaya melebihi tegangan maksimum *strand* atau jika *strand* dalam kondisi rusak. Beton bermutu rendah atau belum cukup umur juga dapat hancur pada tahapan ini.

c. Pada saat peralihan gaya prategang

Untuk komponen struktur *post-tension* peralihan beban berlangsung secara bertahap, gaya prategang pada tendon dialihkan ke beton satu persatu tendon. Pada keadaan ini gaya eksternal belum bekerja kecuali berat sendirinya. Gaya prategang awal setelah terjadi kehilangan juga ikut menentukan desain girder. Girder dengan panjang bentang tersebut di atas yang terletak di atas dua tumpuan, akibat berat sendirinya akan menimbulkan beban momen positif diu tengah bentang.

2. Tahapan Antara

Pembebanan tahap ini ada karena proses pemindahan beton *precast* dari pabrik ke lokasi proyek. Tahapan antara merupakan tahapan pembebanan selama *girder* dalam masa pengangkutan, termasuk masa saat *girder* dalam proses erection. Cara pengangkatan dan pengangkutan balok *girder* harus

diperhitungkan dengan baik. Pengangkatan dengan cara yang salah dapat mengakibatkan balok *girder* retak atau bahkan mungkin patah.

3. Tahapan Akhir

Pembebanan tahap akhir merupakan tahapan dimana beban rencana telah bekerja pada struktur. Pada beton prategang, ada tiga jenis beban kerja yang dialami:

a. Beban kerja tetap

Lendutan ke atas atau ke bawah *girder* akibat beban kerja tetap konstruksi tersebut merupakan salah satu faktor penentu dalam desain, karena pengaruh dari rangkaian akibat lentur akan memperbesar nilainya. Sehingga diberikan batasan tertentu besarnya lendutan akibat beban tetap.

b. Beban kerja

Girder juga didesain berdasarkan beban kerja yang akan dideritanya. Beban kerja yang berlebihan harus ikut dipertimbangkan.

c. Beban retak

Retak pada komponen beton prategang berarti perubahan mendadak pada tegangan rekat dan geser yang sering menjadi parameter bagi kekuatan leleh.

d. Beban batas

Beban batas struktur merupakan beban maksimum yang dapat diikul struktur tersebut sebelum hancur, atau disebut juga *Ultimate strength*. Beban batas diperhitungkan melalui factor beban yang dikalikan pada beban kerja.

2.9.4 Desain Material

2.9.4.1 Beton

Beton adalah campuran dari semen, air, dan agregat serta suatu bahan tambahan. Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai

kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c antara 30 – 45 MPa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil. Menurut ISC (indian standard code), kekuatan tekan kubus 28 hari minimum adalah 40 N/mm² untuk batang pratarik dan 30 N/mm² untuk batang pascatarik.

2.9.4.1.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton tergantung dari jenis campuran, besaran agregat, waktu dan kualitas perawatan. Beton dengan kekuatan tinggi jelas menguntungkan. Kuat tekan beton f'_c didasarkan pada pengujian benda uji silinder standar dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang diolah pada kondisi laboratorium standar dan diuji pada laju pembebanan tertentu selama 28 hari. Spesifikasi standar yang digunakan di Indonesia adalah dari SNI.

2.9.4.1.2 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton relatif sangat kecil, pendekatan yang baik untuk kuat tarik beton f_{ct} adalah $0,10 f'_c < f_{ct} < 0,20 f'_c$. Kuat tarik lebih sulit diukur daripada kuat tekan karena adanya masalah pada penjepitan mesin tarik. Untuk komponen struktur yang mengalami lentur, nilai *modulus reptur* f_r (bukan kuat belah tarik f'_t) digunakan di dalam desain. *Modulus reptur* diukur dengan cara menguji balok beton polos berpenampang bujur sangkar 6” hingga gagal dengan bentang 18” dan dibebani di titik titik sepertiga bentang (ASTM C78). Besarnya *modulus reptur* lebih besar dibandingkan kuat tarik belah beton. Dari pedoman beton 1988, *chapter 3* besar *modulus reptur* adalah:

$$Fr = 0,6 \times \sqrt{f'c} \quad (2.90)$$

Kekuatan tarik langsung (*direct tensile strength*) pada beton menurut peraturan ACI 318-83 adalah:

$$f_{df} = 0,4 \times f'c \quad (2.91)$$

Dengan :

f_{df} = kekuatan tarik langsung

Dapat menjadi nol jika terjadi retak pada beton. *Modulus keruntuhan (modulus of repture)* beton lebih tinggi dari kekuatan tarik beton yang menurut peraturan ACI 318-83 (pada berat beton normal).

$$f_{tf} = 0,62 \times \sqrt{f'c} \quad (2.92)$$

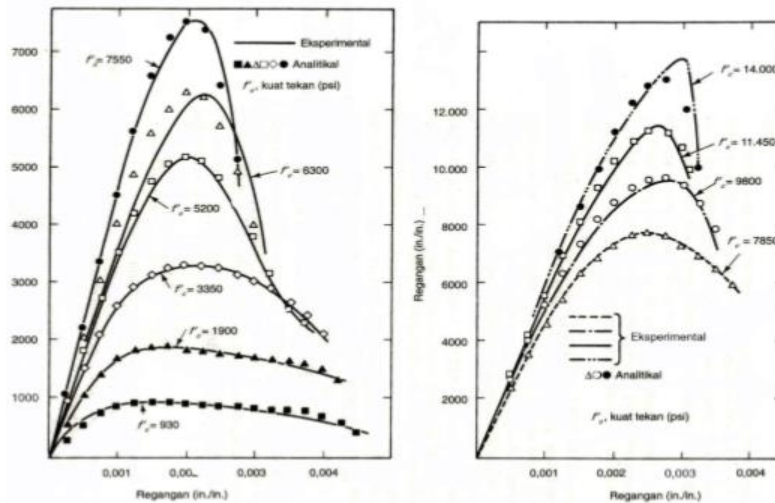
dengan :

f_{tf} = modulus keruntuhan (kekuatan tarik *flexural*).

2.9.4.1.3 Kuat Geser

Balok yang terlentur pada saat bersamaan juga menahan gaya geser akibat lenturan. Kondisi kritis geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-regangan tarik tambahan di tempat tertentu pada komponen struktur terlentur. Apabila gaya geser yang bekerja pada struktur beton bertulang cukup besar hingga di luar kemampuan beton, maka perlu dipasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut. Kuat geser lebih sulit ditentukan dengan cara *eksperimental* dibandingkan dengan pengujian-pengujian lainnya, dikarenakan sulitnya untuk mengisolasi tegangan geser dari tegangan lainnya. Hal ini mengakibatkan perbedaan hasil besarnya kuat geser beton yang dilaporkan berbagai

studi *literatur*, mulai dari 20% hingga 85% dari kuat tekan pada kasus-kasus dimana geser langsung terjadi bersamaan dengan tekan.



Gambar 2.33 Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton
Sumber : Beton pratayang jilid I Edward g nawy

2.9.4.1.4 Modulus Elastisitas Beto (EC)

Sesuai ketentuan SNI Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T 12-2004), nilai modulus elastisitas beton E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh *material* dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis tidak kurang dari 2000 kg/m³ dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa nilai E_c bisa diambil sebagai berikut :

$$E_c = E_c^{1,5} (0,043 \sqrt{f'c'}) \quad (2.93)$$

Dalam kenyataan nilainya dapat bervariasi $\pm 20\%$, Wc menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m³, $f'c$ menyatakan kuat tekan beton dalam satuan MPa, dan E_c dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m³ maka dapat diambil *modulus elastisitas* beton :

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (2.94)$$

Dengan:

f'_c = kuat tekan beton dalam Mpa

2.9.4.1.5 Angka Poison

Sesuai ketentuan SNI Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T12-2004), angka poison untuk beton diambil sebesar 0.2.

2.9.4.1.6 Rangkak

Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja terus menerus. Susut serta rangkak beton pada dasarnya sama asalnya, sebagian besar adalah akibat perpindahan tempat air di dalam lubang-lubang *kapiler* pasta semen. Berbagai faktor yang mempengaruhi rangkak beton adalah kelembaban relatif, tingkat tegangan, kekuatan beton, umur beton pada pembebanan, lamanya tegangan, perbandingan air/semen, dan tipe semen serta agregat pada beton. Untuk tegangan sampai kira-kira setengah kekuatan hancur beton, rangkak berbanding lurus dengan tegangan, akan tetapi di atas nilai ini, rangkak bertambah lebih cepat.

2.9.4.1.7 Susut

Pada dasarnya ada dua jenis susut, yakni; susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi selama beberapa jam pertama sesudah pengecoran beton segar di cetakan. Permukaan yang diekspos seperti *slab* lantai akan dipengaruhi oleh udara kering, karena luasnya permukaan kontak. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume beton, karena terjadi hilangnya kandungan air pada beton akibat penguapan.

2.9.4.1.8 Kuat Lelah Beton Prategang

Kuat lelah (*fatigue strength*) dari beton prategang dapat dipelajari dari tiga pendekatan, yaitu dari beton itu sendiri, dari baja mutu-tinggi, dan dari kombinasi keduanya. Mungkin juga dipelajari dengan menggunakan pengetahuan kita mengenai lelah pada beton bertulang, karena telah mempunyai data yang cukup. Akan tetapi antara beton prategang dan beton bertulang ada perbedaan. Sebagai contoh, di dalam beton prategang, tekanan pada serat terluar akibat beban mati hampir nol dan mencapai maksimum akibat beban hidup, sehingga perubahannya cukup besar. Selanjutnya, baja mutu-tinggi ditegangkan sampai tegangan yang cukup besar, tetapi rentang tegangannya cukup kecil.

Pada balok prategang yang memikul beban hidup, tegangan di dalam kawat baja jarang bertambah lebih besar dari 70 MPa di atas tegangan efektif sebesar 1035 MPa. Cukup aman untuk menyatakan bahwa, sepanjang beton tidak retak, hanya sedikit kemungkinan terjadi keruntuhan pada baja akibat lelah, walaupun beban kerja telah dilampaui. Setelah beton retak, terjadi konsentrasi tegangan kawat di sekitar retak. Tegangan yang tinggi ini mengakibatkan kehancuran rekatan antara baja dengan beton di dekat retak. Pada beton bertulang, dapat terjadi keruntuhan pada rekatan atau putus pada baja.

Banyak percobaan telah dilakukan pada balok prategang yang memberikan data mengenai kekuatan terhadap lelah. Hasil percobaan ini meyakinkan kemampuan kombinasi beton dan baja untuk memikul beban berulang di dalam batas beban kerja. Keruntuhan dimulai di kawat-kawat pada penampang dekat.

2.9.4.2 Baja

2.9.4.2.1 Baja Prategang

Baja mutu tinggi merupakan bahan yang umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Pendekatan yang jelas tentang produksi baja mutu-tinggi adalah dengan pencampuran (*alloying*), yang memungkinkan pembuatan baja semacam itu pada operasi normal.

Cara yang paling umum untuk menambahkan kekuatan tarik baja prategang adalah dengan *cold-drawing*, baja mutu-tinggi melalui serangkaian pencelupan. Proses *cold-drawing* cenderung untuk menyusun kembali kristal-kristal dan kekuatan bertambah setiap kali *drawing*, jadi makin kecil diameter kawat, makin tinggi kekuatan batasnya. *Daktilitas* (kekenyalan) kawat berkurang sedikit akibat *cold-drawing*.

Baja mutu-tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga bentuk kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*), batang (*bar*). Untuk sistem pasca tarik banyak digunakan kawat yang digabungkan secara paralel menjadi kabel. *Strand* dibuat di pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama, jadi mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada operasi penarikan. *Strand*, seperti juga batang baja mutu tinggi, digunakan pula untuk sistem pascatarik.

1. Kawat Baja

Kawat untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan spesifikasi ASTM A-421 untuk “*Uncoated Stress-Relieved Wire for Prestressed Concrete*”. Kawat tersebut dibuat dari batang yang dihasilkan oleh proses open hearth atau tungku listrik. Setelah *cold-drawn* sesuai dengan ukurannya, kawat-kawat di *stress-relieve*

dengan cara *treatment* dengan panas yang terus menerus untuk menghasilkan sifat-sifat mekanis yang telah ditentukan sebelumnya. Kekuatan tarik dan kekuatan leleh minimum (diukur dengan cara pemanjangan total 1,0 %).

Tabel 2.44 *Spesifikasi ASTM A-421*

Diameter Nominal (In.)	Kuat tarik minimum (Psi)		Tegangan minimum pada ekstensi 1% (Psi)	
	Tipe BA	Tipe WA	Tipe BA	Tipe WA
0,192		250.000		212.500
0,196	240.000	250.000	204.000	212.500
0,250	240.000	240.000	204.000	204.000
0,276	235.000	235.000	199.750	199.750

Sumber : *Post-tensioning institute*

a. Untaian-kawat (*strand*) baja

Untaian kawat (*strand*) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan Spesifikasi ASTM A-416 untuk “*Uncoated Seven-Wire Stress-Relieved for Prestressed Concrete*” Yang digunakan adalah 2°, 1724 MPa 1862 MPa, dimana kata “derajat” menunjukkan tegangan putus minimum yang dijamin. Spesifikasi ini ditujukan untuk konstruksi beton prategang pratarik yang terekat. Juga dapat dipakai untuk konstruksi pasca-tarik, baik jenis terekat maupun tak terekat. *Strand* dengan 7-kawat mempunyai sebuah kawat di tengah yang sedikit lebih besar dari keenam kawat di sebelah luarnya yang membungkusnya dengan erat dalam bentuk *spiral* dengan jarak merata antara 12 dan 16 kali diameter nominal *strand*. Setelah dibuat *strand*, semua *strand* di-*treatment* dengan *stress relieving continuous heat* untuk menghasilkan sifat mekanis yg telah ditetapkan.

Untaian tujuh-kawat biasa digunakan untuk sistem prategang menurut spesifikasi ASTM A-416, yang mempunyai kekuatan batas 1720 Mpa atau 1860 Mpa. Sifat-sifatnya didaftarkan pada tabel 2.3. Sejak baja yang lebih kuat yang dikenal sebagai derajat 1860 MPa telah diproduksi oleh berbagai perusahaan. Untuk

ukuran nominal yang sama, derajat 1860 MPa mempunyai luas baja yang lebih besar ASTM A-416 derajat 1720 dan 15% lebih kuat. Naja derajat 1860 MPa sekarang umum dipakai untuk strand 7-kawat di *Amerika Serikat*, baik untuk struktur pratarik maupun pasca-tarik. Untaian kawat dengan relaksasi rendah juga tersedia dalam kedua derajat tersebut.

Tabel 2.45 *Spesifikasi strand Uncoated Seven-Wire Stress-Relieved*

Nominal Diameter			Diameter Tolerance		Grade		Nominal Weight		Nominal Stell Area		Minimum Breaking Strength		Yield Strength Minimum Load at 1% Extension	
ø	Inch	mm	Inch	mm	ksi	MPa	lb/1000'	g/m	Inch ²	mm ²	lbs	Kn	lbs	Kn
1/4	0.250	6.4	0.0016/+0.0016	-0.4/+0.4	250	1725	122	182	0.036	23.2	90000	40.0	8100	36.0
5/16	0.313	7.9	0.0016/+0.0016	-0.4/+0.4	250	1725	190	294	0.058	37.4	145000	64.5	13050	58.1
3/8	0.375	9.53	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	290	432	0.085	54.8	230000	102.3	20700	92.1
7/16	0.438	11.11	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	390	582	0.115	74.2	310000	137.9	27900	124.1
1/2	0.500	12.7	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	520	775	0.153	98.7	413000	183.7	37170	165.3
0,52	0.520	13.2	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	568	844	0.167	107.7	450000	200.2	40500	180.1
0,56	0.563	14.29	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	651	970	0.192	123.9	517000	230.0	46530	207.0
0,6	0.600	15.24	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	740	1102	0.217	140.0	586000	260.7	52740	234.6
0,7	0.700	17.78	-0.006/+0.0026	0.15/+0.65	270	1860	1000	1487	0.294	189.7	794000	353.2	71500	318.0

Sumber : ASTM A416M-2010 Low Relaxation

Baja pada konstruksi beton prategang merupakan penyebab terjadinya pemendekan pada beton dikarenakan pengaruh rangkai dan susut. Kehilangan gaya prategang pada baja sesaat setelah penegangan pada baja akibat gesekan di sepanjang tendon atau saat pengangkuran ujung (*draw in*) akan mempengaruhi gaya prategang pada beton dengan angka yang cukup signifikan. Untuk tujuan keefektifan desain, total kehilangan gaya prategang harus relatif kecil dibandingkan dengan gaya prategang yang bekerja. Kondisi ini dipengaruhi oleh jenis baja prategang yang digunakan dalam konstuksi. Pada tugas akhir ini, direncanakan

penggunaan baja jenis baja strands sebagai tulangan prategang dan baja tulangan biasa sebagai tulangan geser.

Baja strands merupakan jenis yang paling banyak digunakan untuk penegangan *post-tension*. Tendon untuk tulangan pratekan harus memenuhi salah satu dari spesifikasi berikut:

1. Kawat dengan relaksasi rendah, yang memenuhi “*Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete*” termasuk suplemen “Kawat dengan relaksasi rendah” (ASTM A 421).
2. Kawat yang memenuhi “*Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel for Prestressed Concrete*” (ASTM A 421).
3. Strand yang sesuai dengan “*Spesifikasi untuk Strand Baja, Tujuh Kawat Tanpa Lapisan untuk Beton Pratekan*” (ASTM A 416M).
4. Tulangan, yang sesuai “*Spesifikasi untuk Baja tulangan mutu tinggi tanpa lapisan untuk beton pratekan*” (ASTM A722).

Baja yang digunakam sebagai tulangan atau tendon kabel prategang merupakan jenis *Uncoated Stress Relieve Seven Wire Strands Low Relaxataion*.

2.9.5 Perhitungan Struktur Atas Jembatan

2.9.5.1 Analisis Penampang PC I Girder

a. Luas

$$Luas\ area\ tipe\ segitiga = \frac{1}{2} \times alas \times tinggi \quad (2.95)$$

$$Luas\ area\ Persegi = Panjang \times Lebar \quad (2.96)$$

b. Jarak titik berat

$$\text{Letak titik berat arah } Y (Yb) = \Sigma (A \times y) + \Sigma A \quad (2.97)$$

c. Penentuan lebar efektif slab lantai

Sesuai dengan SNI-03-2847-2002 Lebar efektif plat (B_e) diambil nilai terkecil dari:

$$B_e \leq \frac{1}{4} L$$

$$B_e \leq B$$

$$B_e \leq 12 \times \text{tebal pelat}$$

Nb: Untuk lebar pelat efektif dipilih yang paling kecil

d. Inersia I_x

$$\text{Momen Inersia Terhadap alas Balok } I_b = (A \times y) + \Sigma I_o \quad (2.98)$$

$$\text{Momen Inersia terhadap titik berat balok} = I_b - A \times Yb^2 \quad (2.99)$$

e. Modulus Section (w)

Besarnya modulus tampang dapat dihitung dengan membagikan inersia arah x (I_x) dengan jarak titik berat keseluruhanya, atau secara matematis dinyatakan dengan:

$$W_a = \frac{I_x}{Y_a} \quad (2.100)$$

$$W_b = \frac{I_x}{Y_b} \quad (2.101)$$

2.9.5.2 Pembebanan

2.9.5.2.1 Beban Mati

1. Berat Sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

a. Berat diafragma

- Berat 1 buah Diafragma (w)

$$W = V \times W_c = kN/m^3 \quad (2.102)$$

- Berat Diafragma

$$W_n = n \times W = kN/m^3 \quad (2.103)$$

b. Berat balok

Berat balok prategang + 10%

$$W_{balok} = A \times L \times W_c \quad (2.104)$$

$$Q_{balok} = \frac{W_{balok}}{L} \quad (2.105)$$

Tabel 2.46 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	K_{MS}^S		K_{MS}^U	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja,aluminium	1,0	1,1	0,9
	Beton pra cetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

Sumber : RSNi T- 02 – 2005

2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

a. Berat aspal dan air hujan

- Berat jenis aspal (W_{as}) = 22 kN/m³
- Tebal Aspal = 0,05 m
- Lebar tinjauan = lebar efektif
- Beban

$$Q_{as} = A \times W_a = kN/m \quad (2.106)$$

$$Q_{as} = (tebal \times lebar tinjauan) \times berat jenis \quad (2.107)$$

b. Berat air hujan

- Berat jenis air hujan (W_{ah}) = 9,8 kN/m³
- Tinggi genangan air hujan = 0,025 m
- Lebar tinjauan = lebar efektif
- Beban

$$Q_{ah} = A \times W_{ah} \quad (2.108)$$

$$Q_{ah} = (tebal \times lebar tinjauan) \times berat jenis \quad (2.109)$$

Tabel 2.47 Faktor beban untuk beban mati tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	K_{MS}^S		K_{MS}^U	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan Umum	1,0	2,0	0,7
	Keadaan Khusus	1,0	1,4	0,8
Catatan (1) Faktor Beban Daya Layan 1,3 Digunakan Untuk Beban Utilitas				

Sumber : RSNI T- 02 – 2005

2.9.5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar ;ajur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan pelajur lalu lintas rencana.

Secara umum beban “D” akan menentukan dalam perhitungan yang mempunyai bentang mulai sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

a. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Menurut RSNI, beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besar q tergantung pada panjang total yang dibeban L seperti persamaan berikut ini :

$$L \leq 30 \text{ m ; } q = 9.0 \text{ kPa} \quad (2.110)$$

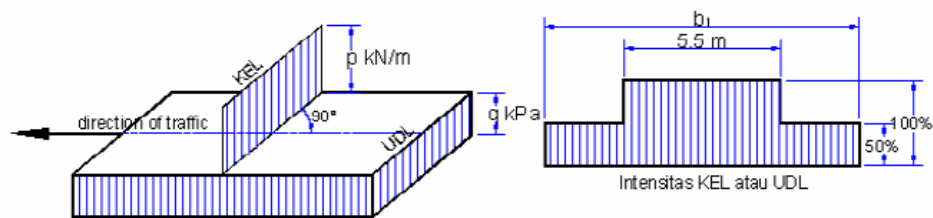
$$L > 30 \text{ m ; } q = 9.0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa,} \quad (2.111)$$

Sedangkan untuk beban garis P ditetapkan sebesar 49 kN/m.

Tabel 2.48 *Faktor beban akibat beban lajur “D”*

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TD}^S	K_{TD}^U
Transien	1.0	1.8

Sumber : RSNI T-02-2005 6.3.



Gambar 2.34 Beban Lajur “D”

b. Gaya Rem

Efek rem dan percepatan pada lalu lintas ditetapkan sebagai gaya yang bekerja di permukaan jalan dalam arah memanjang. Bekerjanya gaya-gaya arah memanjang jembatan akibat gaya rem dan traksi harus ditinjau untuk kedua lajur lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur “D” yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan faktor beban dinamis. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tanggap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai jembatan.

Tabel 2.49 Faktor beban akibat gaya rem

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TB}^S	K_{TB}^U
Transien	1.0	1.8

Sumber : RSNI T-02-2005

c. Gaya Pejalan Kaki

Sesuai dengan peraturan RSNI T-02-2005 6.7 semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Unsur jalan yang menerima beban pejalan kaki dinyatakan dalam satuan luas. Tabel 2.44 menunjukkan koefisien beban yang dipakai dalam perhitungan beban pejalan kaki.

Tabel 2.50 Faktor beban untuk pejalan kaki

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TP}^S	K_{SS}^U
Transien	1.0	1,8

Sumber : RSNI T-02-2005

2.9.5.2.3 Beban Akibat Lingkungan

a. Beban Angin

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin statik yang bekerja pada dek jembatan diperhitungkan sebesar luas ekuivalen bagian samping jembatan. Beban kerja dan terfaktor angin yang bekerja pada jembatan didapat dari persamaan :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b [kN] \quad (2.112)$$

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b [kN] \quad (2.113)$$

Dimana:

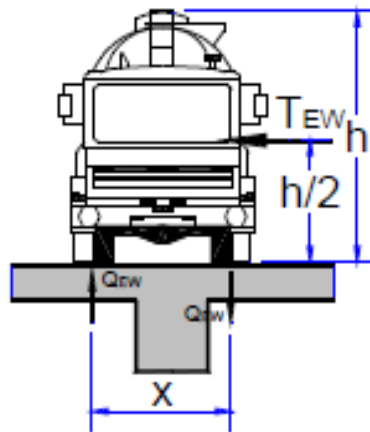
C_w = Koefisien seret

V_w = Kecepatan angin rencana (m/detik)

T_{EW} = Beban angin arah horizontal (kN/m)

H = Tinggi kendaraan

Q_{EW} = Transfer beban angin ke lantai jembatan (kN/m)



Gambar 2.35 Pembebanan Angin

Tabel 2.51 Koefisien seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas Masif	
$b/d = 1.0$	2.1
$b/d = 2.0$	1.5
$b/d \geq 6.0$	1.2
Bangunan atas rangka	1.2

Sumber : RSNI T-02-2005 7.6

Tabel 2.52 Kecepatan angin rencana V_w

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 Km dari pantai	>5 Km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimate	35 m/s	30 m/s

Sumber : RSNI T-02-2005

Tabel 2.53 Faktor beban untuk beban angin

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{EW}^S	K_{EW}^U
Transien	1.0	1.2

Sumber : RSNI T-02-2005

b. Beban Gempa

Dalam suatu perencanaan jembatan atau jalan layang harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa. beban gempa hanya diperhitungkan untuk kondisi batas ultimate. Beban gempa biasanya berakibat langsung pada perencanaan pilar, kepala jembatan dan Pondasi. Besarnya beban gempa diperhitungkan sebagai berikut :

$$T'_{EQ} = K_v \cdot I \cdot W_T \quad (2.114)$$

Dengan,

T'_{EQ} = Gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau (kN)

K_v = Koefisien beban gempa vertikal

I = Faktor kepentingan

W_T = Berat total bangunan termasuk beban mati tambahan

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 \times g$ (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekivalen.

$$K_h = C \cdot S \quad (2.115)$$

Dengan,

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar

S = Faktor tipe bangunan

Koefisien geser dasar (C) ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan waktu getar bangunan (T) dan (C) dapat dihitung dengan rumus :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{W_T / g \cdot K_p} \text{ (detik)} \quad (2.116)$$

Dengan,

W_T = Berat total bangunan termasuk beban mati tambahan

g = Percepatan gravitasi

K_P = Kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Tabel 2.54 Faktor beban untuk beban gempa

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{EQ}^S	K_{EQ}^U
Transien	Tidak dapat digunakan	1.0

Sumber : RSNI T-02-2005

Tabel 2.55 Faktor kepentingan

Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif	1,2
Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi	1,0
Jembatan sementara dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi	0,8

Sumber : RSNI T-02-2005

Tabel 2.56 Faktor tipe bangunan

Tipe Jembatan	Jembatan dengan daerah sendi beton bertulang atau baja	Jembatan dengan daerah sendi beton prategang	
		Prategang parsial	Prategang penuh
Tipe A	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe B	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe C	3,0	3,0	3,0

Sumber : RSNI T-02-2005

2.9.5.2.4 Kombinasi Pembebanan

Pada konstruksi jembatan kombinasi terbagi menjadi dua jenis kombinasi yaitu : kombinasi batas layan dan kombinasi batas ultimate. Aksi-aksi yang bekerja pada jembatan dibagi menjadi dua kelompok yaitu aksi tetap dan aksi transien.

Untuk kombinasi pembebanan konstruksi jembatan secara umum baik batas layan maupun batas ultimate telah tercantum pada RSNI T-02-2005 tentang pembebanan untuk jembatan. Kombinasi sebagai berikut :

Aksi	Kelayanan						Ultimit					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen : • berat sendiri • beban mati tambahan • susut, rangkai • pratekan • pengaruh beban tetap pelaksanaan • tekanan tanah • penurunan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aksi Transien : • beban lajur "D" atau Beban Truk "T"	x	o	o	o	o		x	o	o	o	o	
• gaya rem atau gaya Sentrifugal	x	o	o	o	o		x	o	o	o		
• beban pejalan kaki		x						x				
• gesekan perletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
• pengaruh suhu	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
• aliran/hanyutan/batang kayu dan hidrostatik/apung	o		o	x	o	o	o		x	o		o
• beban angin			o	o	x	o	o		o	x		o
Aksi Khusus : • gempa											x	
• beban tumbukan												
• pengaruh getaran	x	x										
• beban pelaksanaan						x						x
"x" berarti beban yang selalu aktif "o" berarti beban yang boleh dikombinasi dengan beban aktif, tunggal atau seperti ditunjukkan	(1) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL (2) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL + 0,7 beban "o" KBL (3) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL + 0,5 beban "o" KBL + 0,5 beban "o" KBL						Aksi permanen "x" KBU + beban aktif "x" KBU + 1 beban "o" KBL					

Gambar 2.36 Kombinasi pembebanan pada balok PCI Girder

Sumber : RSNI-T-02-2005

Untuk kombinasi pembebanan mengacu pada RSNI T-02-2005, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.36. Kombinasi pembebanan terbagi menjadi 2 kondisi, yaitu kondisi kelayanan dan kondisi ultimit.

2.9.5.3 Sistem Prategang

Sistem prategang yang direncanakan akan digunakan pada PCI Girder adalah sistem perimbangan beban (balancing). Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya pada sebuah gelagar. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh beton prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga balok girder yang mengalami lenturan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi terbebani.

Girder didesain dengan sistem prategang penuh yang berarti komponen struktur didesain pada beban kerja tidak terjadi tegangan tarik. Namun dalam pelaksanaannya tergantung besar beban yang akan bekerja.

2.9.5.3.1 Sistem Penegangan Tendon

Sistem penegangan tendon yang direncanakan adalah sistem *post-tension* (pasca-tarik) mekanis dengan bantuan dongkrak. Sistem pasca tarik adalah suatu sistem prategang kabel tendon dimana kabel ditarik setelah beton mengeras. Jadi sistem prategang hampir selalu dikerjakan pada beton yang telah mengeras, dan tendon-tendon diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang dilakukan.

Pada sistem *post-tension* mekanis, dongkrak digunakan untuk menarik baja strand dengan reaksi yang bekerja melawan beton yang telah mengeras. Penggunaan dongkrak hidrolik bertujuan untuk kemudahan pengoperasian alat dan dengan kapasitas alat yang besar. Sistem ini akan diberikan pada girder *precast segmental*.

Sistem *post-tension* pada proyek ini, untuk mengalihkan gaya prategang ke beton diperlukan bantuan alat mekanis yaitu angkur ujung (struktur dengan pengankuran ujung). Komponen struktur *post-tension* menyelubungi tendon-nya dengan cara peng-grouting selongsong. *Grouting* adalah proses penginjeksian air semen dan pasir halus yang dilakukan setelah selesain proses *stressing*. Rekatan pada tendon sistem prategangan *post-tension* dicapai dengan pelaksanaan *grouting*.

2.9.5.3.2 Besar Gaya Prategang

1. Persentase tegangang leleh yang timbul pada baja

Berdasarkan peraturan perencanaan CSA (Kanada), tegangan tarik pada tendon dibatasi, untuk *Strand* dan Kawat *low relaxation* tegangan tarik pada tendon 85%.

$$P_o = \frac{P_t}{(0,85 \times n_s \times P_{bs})} \quad (2.117)$$

Dengan:

n_s = jumlah *strands cable* yang dipakai

P_t = Gaya prategang awal (kN)

P_{bs} = Beban putus minimal satu strand (kN)

2. Tegangan pada baja saat penarikan

$$f_{pj} = \frac{P_t}{A_{ps}} = kPa \quad (2.118)$$

3. Saat awal di tengah bentang

Tegangan di bagian atas

$$f_{ti} = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} \quad (2.119)$$

Tegangan di bagian bawah

$$f_{ci} = -\frac{P_t}{A} - \frac{P_t \times e_s}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b} \quad (2.120)$$

4. Saat servis di tengah bentang

Tegangan di bagian atas

$$f_{ac} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \times e's}{W_{ac}} - \frac{M_{bp}}{W_{ac}} \quad (2.121)$$

Tegangan di bagian bawah

$$f_b = -\frac{P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \times e's}{W_{bc}} + \frac{M_{bp}}{W_{bc}} \quad (2.122)$$

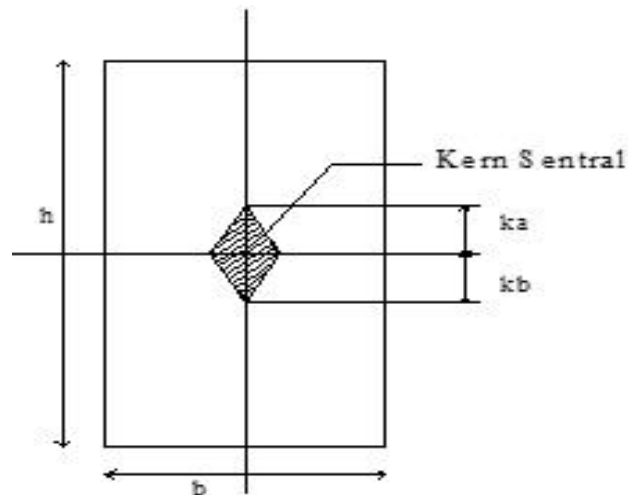
Dengan:

P_t	: Gaya prategang awal
S_a	: Modulus section bagian atas balok precast
M_{balok}	: Momen akibat berat sendiri
e	: Eksentrisitas
$e's$	: Eksentrisitas pada balok komposit
S_b	: Modulus section bagian bawah balok precast
P_e	: Gaya prategang efektif
S'_{ac}	: Modulus section bagian bawah balok komposit
M_{bp}	: Momen akibat berat beton (Precast beam + slab + diaphragm + trotoar + sandaran)

2.9.5.4 Daerah Aman Tendon

Daerah aman tendon adalah daerah dimana tendon boleh berada, tanpa menyebabkan tegangan yang melebihi tegangan tarik/tekan yang diijinkan. Jika gaya tekan tendon jatuh pada kern sentral, maka pada seluruh penampang tidak akan terjadi tarik. Kern sentral untuk penampang akan sama sepanjang bentang, sehingga tergantung geometri penampang sebab dibatasi oleh k_a dan k_b .

Perencanaan Tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang, seperempat bentang dan ujung balok.



Gambar 2.37 Daerah Batas Kern Atas dan Kern Bawah

Untuk mencari batas kern dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kern atas } (K_a) = \frac{I}{A.Y_b} \quad (2.123)$$

$$\text{Kern bawah } (K_b) = \frac{I}{A.Y_a} \quad (2.124)$$

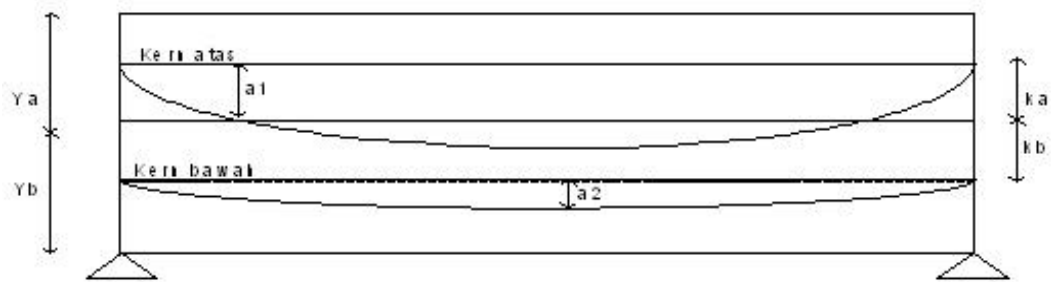
2.9.5.4.1 Perencanaan Daerah Aman Tendon

Lay-out tendon terutama yang berbentuk parabola dapat berubah sepanjang bentang dan ada kemungkinan keluar dari kern sentral, sehingga diperlukan kern batas supaya penampang tidak terjadi tegangan tarik/tekan lebih dari tegangan ijin. Kern batas ini terdiri dari batas atas dan batas bawah.

Daerah batas atas dan bawah tersebut merupakan daerah aman tendon. Batas atas dan bawah ditentukan dengan persamaan:

$$a_{min} = \frac{M_0}{P_o} \quad (2.125)$$

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_o} \quad (2.126)$$



Gambar 2.38 Batas Atas dan Bawah Daerah Aman Tendon

2.9.5.5 Daerah Aman Tendon

2.9.5.6 Kehilangan Tegangan

2.9.5.6.1 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang terlihat ke angkur. Pada metode pasca Tarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya jacking dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit. Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking.

2.9.5.6.2 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Kabel

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *wobble effect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_0 di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wobble*

mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon

Loss of prestress akibat gesekan kabel: $P_x = P_o \times e^{-\mu \times (\alpha + \beta \times Lx)}$

Dimana

μ = Koefisien gesek

β = Koefisien Wobble

α = Perubahan sudut lintasan tendon

Tabel 2.57 Koefesien Gesek

VALUES OF COEFFICIENT μ (SIMULTANEOUS STRESSING)	
Type of duct or tendon support	Typical values for μ
Bright or zinc-coated metal duct	0.20
Lead-coated metal duct	0.15
Unlined preformed holes in concrete	0.50
External tendons over machined cast steel saddles fixed to concrete	0.15
Bars, without ducts, greased and wrapped with tape prior to concreting	0.20

Sumber : NAASRA 1976

Tabel 2.58 Koefesien Gesek

Type of duct or tendon support	Typical values for β
Ducts containing tendons other than bars:	
(a) 50 mm and less internal diameter	0.016
(b) over 50 mm and up to 90 mm diameter	0.012
(c) over 90 mm internal diameter	0.008
Ducts of any diameter containing bars	0.008
Unlined holes in concrete formed by steel tubing or bars	0.008
Bars without ducts, greased and wrapped with tape prior to concreting	0.008

Sumber : NAASRA 1976

2.9.5.6.3 Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis

Akibat gaya jacking yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya prestress yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada kontruksi pasca tarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir

Loss of prestress akibat pemendekan elastis,

$$\Delta P_e = \Delta \sigma_{pe} \times A_t$$

2.9.5.6.4 Kehilamngan Tegangan Akibat Relaksasai Tendon

1. Pengaruh susut

Susut pada beton adalah regangan yang terjadi akibat penguapan air yang bergantung pada kelembapan, ukuran bentuk penampang dan waktu. Kehilangan prategang akibat susut untuk komponen struktur pasca tarik bernilai lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian gaya prategang. Rangkak, susut dan relaksasi baja prategang akan memberikan tambahan lendutan yang terjadi akibat lendutan seketika sejalan dengan bertambahnya waktu serta akan menyebabkan kehilangan gaya prategang. Pertambahan lendutan akibat rangkak dan susut ini akan tergantung dari besarnya koefisien rangkak dan regangan susut yang terjadi, sedangkan besarnya koefisien rangkak dan regangan susut sangat dipengaruhi oleh kelembaban relatif, perawatan beton, umur beton pada saat di bebani, rasio Antara volume-keliling penampang, slump beton, kadar agregat dan kadar udara

$$\Delta \varepsilon_{su} = \varepsilon_b \times k_b \times k_e \times k_p$$

Dimana

ε_b = regangan dasar susut

k_b = koefisien perbandingan air semen

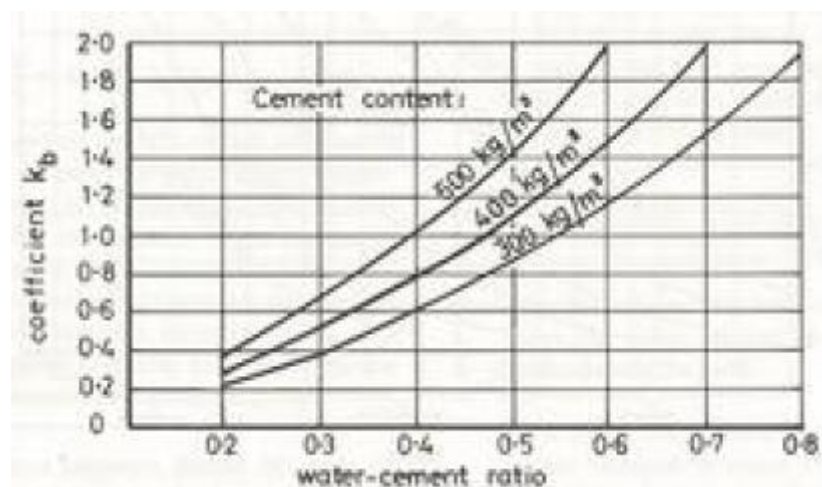
k_e = koefisien tebal teoritis

k_p = koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja non prategang

Tabel 2.59 Koefisien ϵ_b

VALUES OF COEFFICIENT ϵ_b		
Climatic condition	Average relative humidity as a percentage** ¹	Basic shrinkage strain ϵ_b
Dry air	< 50	600×10^{-6}
Generally in the open air, and not subject to periods of prolonged high temperature or low humidity	50 to 75	400×10^{-6}
In very humid air, e.g. over water	> 75	200×10^{-6}
In water	100	0

Sumber : NAASRA 1976

Gambar 2.39 Kurva Koefisien k_b

Sumber : NAASRA 1976

2. Pengaruh rayapan

Rangkak Merupakan deformasi lateral akibat tegangan longitudinal yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian gaya Tegangan tersebut hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan elemen betonprategang, rangkak dianggap terjadi

dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah dilakukan gaya jacking prategang. Karena pada pelaksanaannya dilakukan grouting

$$\varepsilon_{cr} = \left(\frac{f_c}{E_{balok}} \right) \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_{tn}$$

Dimana

K_b = koefisien perbandingan air semen

K_c = koefisien kelembaban udara

K_d = koefisien derajat pengerasan beton

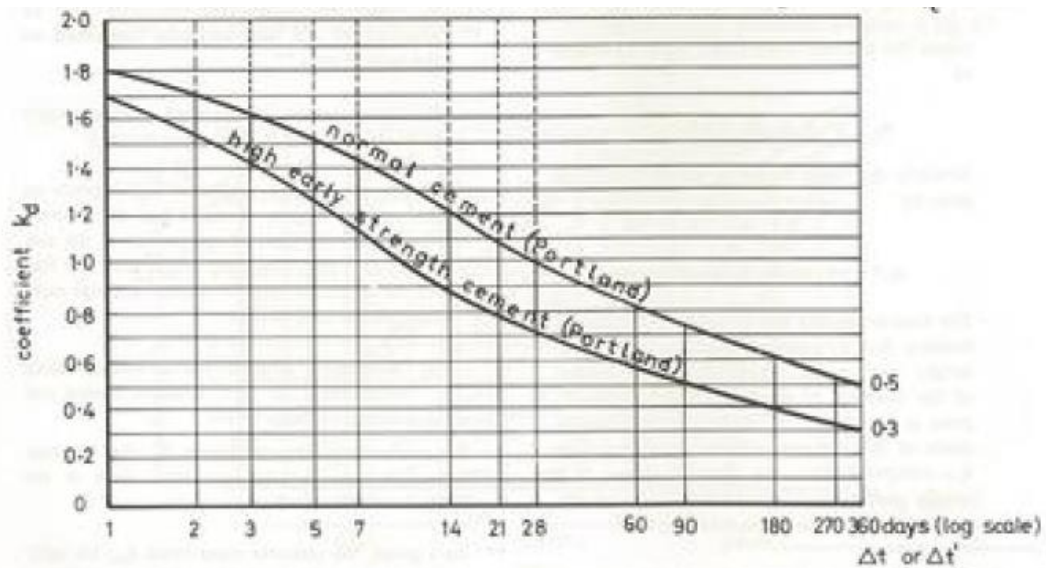
K_e = koefisien tebal teoritis

K_{tn} = koefisien waktu dimana pengerasan terjadi

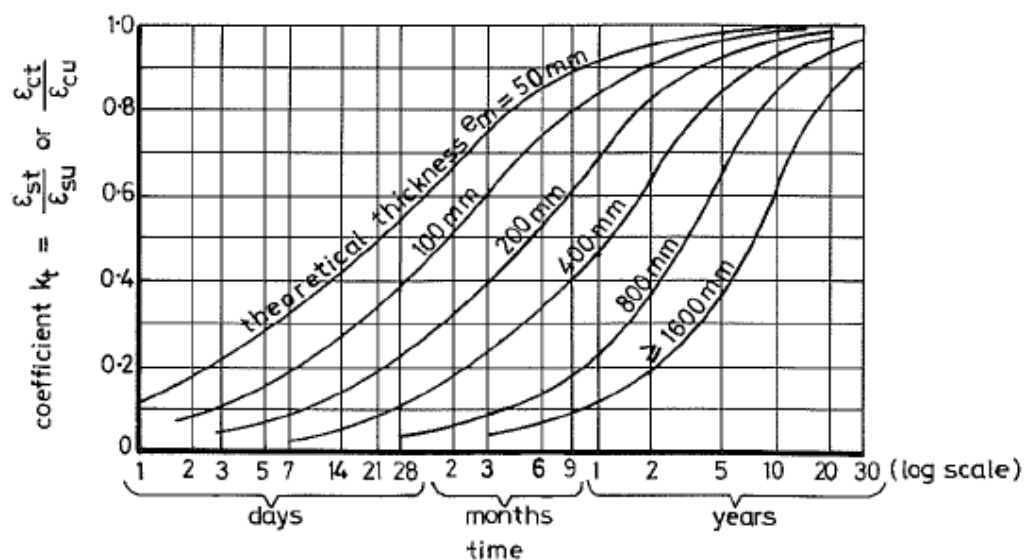
Tabel 2.60 Koefisien k_c
VALUES OF COEFFICIENT k_c

Climatic condition	Average relative humidity as a percentage* ^b	k_c
Dry air	< 50	3.0
Generally in the open air, and not subject to periods of prolonged high temperature or low humidity.	50 to 75	2.5
In very humid air, e.g. over water	> 75	1.5
In water	100	1.0

Sumber : NAASRA 1976



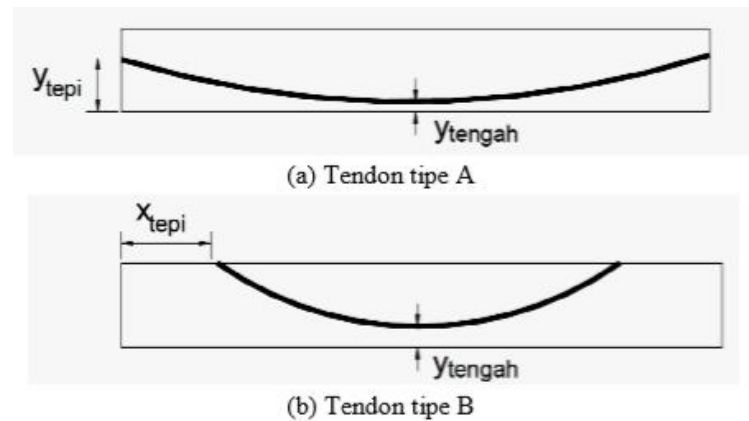
Gambar 2.40 Kurva Koefisien k_d
 Sumber : NAASRA 1976



Gambar 2.41 Kurva Koefisien k_t
 Sumber : NAASRA 1976

2.9.5.7 Lintasan Tendon

Lintasan tendon yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tendon melengkung (parabola) yang terdiri dari dua tipe yang berbeda yaitu tipe A dan tipe B. Tendon tipe A mempunyai end block pada ujung-ujung tepi balok prategang, sedangkan pada tendon tipe B end block-nya terletak di bagian/sisi atas balok prategang (diangkurkan pada *flens* atas).



Gambar 2.42 Tipe Tendon

Dalam perhitungan untuk menentukan persamaan lintasan tendon, digunakan persamaan parabola sebagai berikut:

$$Y = 4 \times f \times \frac{X}{L^2} \times (L - X) \quad (2.127)$$

Dimana:

$f = es$

$X =$ bentang permeter

$L =$ bentang total

2.9.5.8 Tinjauan Ultimit Balok Prategang

Kapasitas momen ultimit balok

Modulus elastisitas baja prategang, $= E_s$

Jumlah total strands, $= n_s$

Luas tampang nominal satu strands, $= A_{st}$

Tegangan leleh tendon baja prategang, $= f_{py}$

Luas tampang tendon baja prategang, $A_{ps} = n_s \times A_{st}$

Kuat tekan beton, $f_c' = 0,83 \times K/10$

Kuat leleh baja prestress (f_{ps}) pada keadaan ultimit ditetapkan sebagai berikut:

Untuk nilai $L/H \leq 35$:

$$f_{ps} = \frac{f_{eff} + 150 + f_c'}{(100 \times \rho_p)} = MPa \quad (2.128)$$

f_{ps} harus $\leq f_{eff} + 400$ Mpa dan harus $\leq 0,8 \times f_{py}$

dengan:

L = panjang bentang balok = 40,5 m

H = tinggi total balok

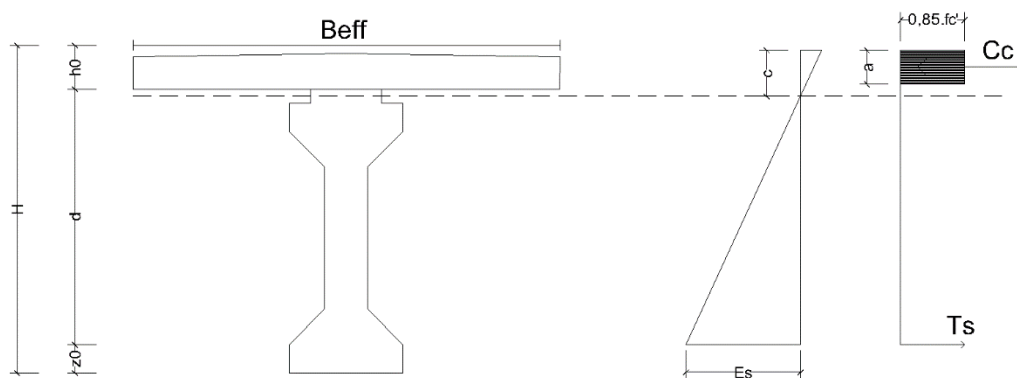
P_{eff} = Gaya prestress efektif (setelah *loss of prestress*)

Tegangan efektif baja prestress,

$$f_{eff} = \frac{P_{eff}}{A_{ps}} \quad (2.129)$$

Rasio luas penampang baja prestress,

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{A_c} \quad (2.130)$$



Gambar 2.43 Distribusi Tegangan Pada Balok Komposit

Diambil nilai f_{ps} terbesar dari 3 nilai berikut:

$$f_{ps} = f_{eff} + 150 + \frac{f_c' \times 10^{-3}}{100 \times \rho_p} \quad (2.131)$$

$$f_{ps} = f_{eff} + 400 \quad (2.132)$$

$$f_{ps} = 0,8 \times f_{py} \quad (2.133)$$

Nilai β_1 adalah diambil dari ketentuan berikut:

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 30)/7 \quad \text{untuk } f_c' \geq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 \text{ harus } \geq 0,65 \quad \text{untuk } f_c' = 41,5 \text{ Mpa}$$

Gaya tarik pada baja prestress,

$$T_s = A_{ps} \times f_{ps} \quad (2.134)$$

Gaya tarik pada baja prestress,

$$C_c = (B_{eff} \times h_0 + b_1 \times (a - h_0)) \times 0,85 \times f_c' \quad (2.135)$$

