

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik Jalan Raya

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

Dalam merencanakan geometrik jalan, seorang perencana harus mempertimbangkan masalah keamanan, kenyamanan, dan keselamatan bagi pengguna jalan. Maka membangun infrastruktur jalan diperlukan sebuah pedoman agar apa yang diinginkan dapat tercapai.

Tujuan utama pembuatan struktur jalan ialah untuk mengurangi tegangan atau tekanan akibat beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menyokong struktur tersebut. (Peter S. Kendrick; 77).

2.1.1 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan di Indonesia berdasarkan Bina Marga dalam tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (TPGJAK) No 038/T/BM/1997, sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi 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 (%)	<3	3-25	>25	<3	3-25	>25	<3	3-25	>25

Sumber TPGJAK 1997

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaanya sesuai dengan PP. No. 26/1985 adalah Jalan Nasional, Jalan Provinsi.

2.1.2 Kendaraan Rencana

Tabel 2. 2 Dimensi Kendaraan Rencana

KATEGORI KENDARAAN RENCANA	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar		Radius Tonjolan (cm)
	tinggi	lebar	Panjang	depan	belakang	min	Max	
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	1.2	90	290	1400	1370

Sumber TPGJAK 1997

2.1.3 Volume Lalu Lintas Rencana

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

$$VJR = VLHR \times \frac{k}{f} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

K (faktor k) : faktor volume lalu lintas jam sibuk

F (faktor f) : faktor variasi lalu lintas persempit jam dalam satu jam

VJR digunakan untuk menghitung jumlah Lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan.

Tabel 2. 3 Penentuan Faktor-K 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	0,16-0,8
1.000-5.000	10-12	0,6-0,8
<1.000	12-16	<0,6

Sumber TPGJAK 1997

2.1.4 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana, VR pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti.

VR untuk masing-masing fungsi jalan dapat ditetapkan dari tabel berikut:

Tabel 2. 4 Kecepatan Rencana (VR), Sesuai Klasifikasi

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

Sumber TPGJAK 1997

2.1.5 Penentuan Lebar Lajur Dan Bahu Jalan

Tabel 2. 5 Lebar Lajur Jalan 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	2nx3.5*)	2,5	2nx7,0*)	2,0	2nx3,5*)	2,0	**)	**)	-	-	-	-

Sumber TPGJAK 1997

Keterangan:

LJ : Lebar Jalur

LB : Lebar Bahu

- **): mengacu pada persyaratan ideal
- *) : 2 jalur terbagi, masing-masing $n \times 3,5\text{m}$, dimana n =jumlah lajur per jalur
- : tidak ditentukan

2.1.6 Bagian-Bagian Jalan

Tiga bagian utama penampang jalan adalah sebagai berikut:

1. Rumaja: ruang manfaat jalan, yaitu ruang jalan yang meliputi badan jalan, saluran tepi dan ambang pengaman jalan.
2. Rumija: ruang milik jalan, yaitu ruang atau daerah yang meliputi seluruh rumaja ditambah lajur memanjang selebar tertetu diukur dari sumbu jalan yang diperuntukan bagi pelebaran jalan dan penambahan jalur lalu lintas dikemudian hari serta kebutuhan ruangan untuk pengaman jalan. Rumija juga disebut *right of way* (ROW).
3. Ruwasja: ruang pengawasan jalan, yaitu lajur lahan yang berbeda dibawah pengawasan penguasa jalan, ditunjukan untuk penjagaan terhadap terhalangnya pandangan bebas pengemudi kendaraan bermotor dan untuk pengamanan konstruksi jalan dalam hal ruang.

2.2 Perencanaan Geometrik Jalan

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang bertujuan untuk menentukan dimensi yang nyata dari suatu jalan beserta bagian-bagiannya yang disesuaikan dengan tuntutan lalu lintas. (Imam Haryanto; 2006).

Parameter perencanaan geometrik jalan yang menghasilkan kenyamanan dan keselamatan lalu lintas, antara lain kendaraan rencana, kecepatan rencana,

volume dan kapasitas jalan, tingkat pelayanan jalan, dan jarak pandang. Untuk mewujudkan rencana jalan baru diperlukan peta dasar untuk menggambarkan rencana trase, potongan memanjang jalan, dan potongan melintang. Dengan peta dasar itu dapat dilakukan pekerjaan, antara lain penentuan garis kemiringan, pembuatan potongan memanjang jalan, dan pembuatan potongan melintang jalan berdasarkan kontur atau peta dasar.

2.2.1 Jarak Pandang

Jarak Pandang adalah Panjang jalan di depan kendaraan yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh pengemudi yang diukur dari kedudukan pengemudi, jarak pandang berpengaruh terhadap keamanan dan kenyamanan pengemudi kendaraan untuk dapat melihat dengan jelas dan menyadari situasi pada saat mengemudi.

1. Jarak Pandang Henti (Jh)

Jarak pandang henti adalah jarak yang ditempuh pengemudi untuk dapat menghentikan kendaraanya. Guna memberikan keamanan pada pengemudi kendaraan, maka pada setiap panjang jarak pandang henti (S.Sukirman;1999).

$$Jh = Jht + Jhr \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Jh = \frac{VR}{3,6} T + \frac{(\frac{VR}{3,6})^2}{2gFp} \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk jalan datar:

$$Jh = 0,694 VR + 0,004 \frac{VR^2}{Fp} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk jalan dengan kelandaian tertentu:

$$Jh = 0,694 VR + 0,004 \frac{VR^2}{Fp \pm L} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Jh = Jarak pandang henti, (m)

Jht = Jarak tanggap

Jhr = Jarak pengereman

VR = Kecepatan rencana, (km/jam)

T = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

g = Percepatan gravitasi, ditetapkan 9,8 m/detik²

Fp = Koefisien gesek memanjang antara ban kendaraan dengan perkerasan jalan aspal, fp akan semakin kecil jika kecepatan (VR)

semakin tinggi dan sebaliknya. (menurut Bina Marga, fp = 0,35 – 0,55)

L = Landai jalan dalam (%) dibagi 100

Tabel 2. 6 Jarak Pandang Henti (Jh) Minimum

VR (Km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jh Minimum (m)	250	175	120	75	55	40	27	16

Sumber : TPGJK 1997

2. Jarak Pandang Mendahului (Jd)

Jarak pandang mendahului adalah jarak pandang yang dibutuhkan untuk melakukan gerakan menyalip dalam keadaan normal.

$$Jd = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$d_1 = 0,278T_1(V_R - m + \alpha \cdot T_1/2) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$d_2 = 0,278 VR T_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

$$d_3 = \text{antara } 30 - 100 \text{ m} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$d_4 = 2/3 d_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

d_1 = Jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d_2 = Jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula

d_3 = Jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)

d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang datang dari arah berlawanan (m)

T_1 = Waktu dalam (detik), = $2,12 + 0,026 VR$

T_2 = Waktu kendaraan berada di jalur lawan, (detik), = $6,56 + 0,048 VR$

A = Percepatan rata-rata, (km/jam/detik), = $2,052 + 0,0036 VR$

m = Perbedaan kecepatan dari kendaraan yang mendahului dan kendaraan yang didahului, (biasanya diambil 10 – 15 km/jam).

Tabel 2. 7 Panjang Jarak Pandang Mendahului

VR (Km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jd (m)	800	670	550	350	250	200	150	100

Sumber : TPGJK 1997

3. Daerah Bebas Samping Tikungan (E)

Daerah bebas samping tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang ditikungan sehingga J_h terpenuhi. Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandang di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh E (m).

- Jarak pandang lebih kecil dari pada Panjang tikungan ($J_h < L_t$)

$$E = R \left[1 - \cos \frac{90^\circ J_h}{\pi R} \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

- Jarak pandangan lebih besar dari panjang tikungan ($J_h > L_t$)

$$E = R \left[1 - \cos \frac{90^\circ J_h}{\pi R} \right] + \left[\frac{J_h - L_t}{2} \sin \frac{90^\circ J_h}{\pi R} \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

J_h = Jarak pandang henti

L_t = Panjang lengkung total

R = Jari-jari tikungan

R' = Jari-jari sumbu lajur

2.2.2 Alinyemen Horizontal

Alinyemen Horizontal terdiri atas bagian lurus dan bagian lengkung (disebut juga tikungan), perencanaan geometri pada bagian lengkung dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima oleh kendaraan yang berjalan pada kecepatan V_r , sehingga untuk keselamatan pemakai jalan, jarak pandang dan daerah bebas samping harus diperhitungkan.

A. 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.

Tabel 2. 8 Panjang Bagian Lurus Maksimum

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 1997

B. Jari - Jari Tikungan

$$R_{min} = \frac{Vr^2}{127 \times (e_{max} + f_{max})} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$D = \frac{1432,4}{R} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$D_{maks} = \frac{181913,53(e_{maks} + f_{maks})}{Vr^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

kecepatan rencana < 80 km/jam berlaku, $f_{max} = -0,00065 Vr + 0,192$

kecepatan rencana antara 80 – 112 km/jam , $f_{max} = - 0,00125 Vr + 0,24$

Keterangan :

Rmin : Jari-jari tikungan minimum, (m)

Vr : Kecepatan kendaraan rencana, (km/jam)

e_{maks} : Superelevasi maksimum, (%)

f_{maks} : Koefisien gesekan melintang maksimum

D : Derajat lengkung (°)

Dmaks : Derajat maksimum

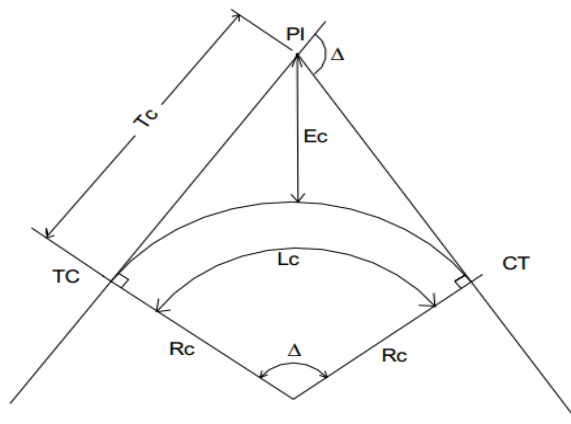
Tabel 2. 9 Panjang Jari-jari Minimum untuk Emaks = 8 % (dibulatkan)

Vr (km/ jam)	120	100	90	80	60	50	40	30	20
Rmin (m)	600	370	280	210	115	80	50	30	15

Sumber : TPGJK 1997

C. Bentuk Tikungan

- *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. 1 Full Circle

- Δ = Sudut Tikung
- O = Titik Pusat Tikung
- TC = Tangen to Circle
- CT = Circle to Tangen
- Rc = Jari – jari busur lingkaran
- Tc = Panjang Tangen (jarak dari TC ke PI atau PI ke TC)
- Lc = Panjang Busur Lingkaran
- Ec = Jarak Luar dari PI ke busur lingkaran

Tabel 2. 10 Jari-Jari Tikungan

Vr (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Rmin	2500	1500	900	500	350	250	130	60

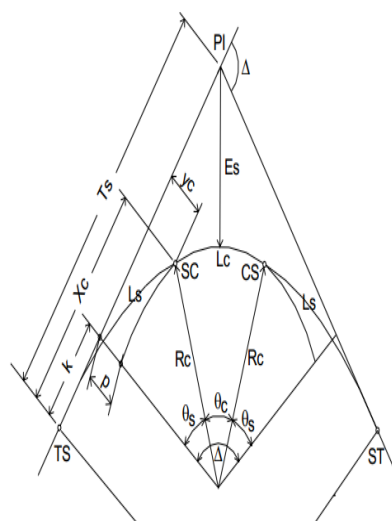
Sumber : TPGJK 1977

$$Tc = Rc \tan \frac{1}{2}\Delta \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Ec = \frac{Rc}{\cos \frac{\Delta}{2}} - Rc \text{ atau } Ec = Tc \tan \frac{1}{4}\Delta \dots\dots\dots (2.16)$$

$$Lc = \frac{\Delta}{360^\circ} 2\pi Rc \dots\dots\dots (2.17)$$

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



Gambar 2. 2 Spiral-Circle-Spiral

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

Y_c = Jarak tegak lurus ketitik SC pada lengkung

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

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

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

TS = Titik dari tangen ke spiral

SC = Titik dari spiral ke lingkaran

E_s = Jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = Sudut lengkung spiral

R_c = Jari-jari lingkaran

p = Pergeseran tangen terhadap spiral

k = Absis dari p pada garis tangen spiral

$$\theta_s = \frac{L_s \times 360}{2 \times R_c \times 2\pi} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$\theta_c = \Delta - (2 \times \theta_s) \dots \dots \dots (2.19)$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360} 2\pi R_c \dots \dots \dots (2.20)$$

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40R_c^2} \dots \dots \dots (2.21)$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \times R_c} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$P = Y_c - R_c \times (1 - \cos \theta_s) \dots \dots \dots (2.23)$$

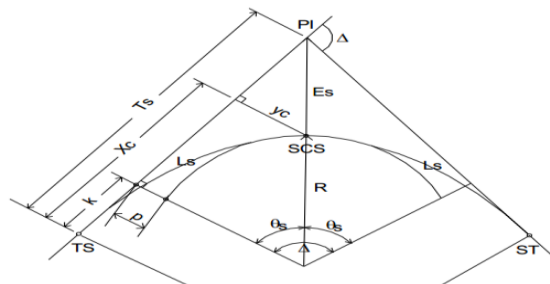
$$K = X_c - R_c \times \sin \theta_s \dots \dots \dots (2.24)$$

$$T_s = (R_c + P) \times \tan \frac{1}{2}\Delta + K \dots \dots \dots (2.25)$$

$$E_s = \frac{(R_c + P)}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R_c \dots \dots \dots (2.26)$$

$$L_{tot} = L_c + (2 \times L_s) \dots \dots \dots (2.27)$$

Bila lengkung $L_c > 20$ m maka bentuk tikungan spiral-spiral.



Gambar 2. 3 Spiral-Spiral

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

D. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan 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.

Berdasarkan waktu tempuh maksimum di lengkung peralihan, $L_s = \frac{V_r}{3,6} T$ (2.31)

Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal, $L_s = 0,022 \frac{V_r^3}{R.C} - 2,727 \frac{V_r.e}{C}$ (2.32)

Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian, $L_s = \frac{(e_m - e_n)V_r}{3,6.R.e}$... (2.33)

Keterangan :

T = waktu tempuh pada lengkung peralihan, ditetapkan 3 detik

V_r = kecepatan rencana (km/jam)

e_m = superelevasi maximum

e_n = superelevasi normal

C : perubahan percepatan 0,3-1,0 disarankan 0,4 m/detik²

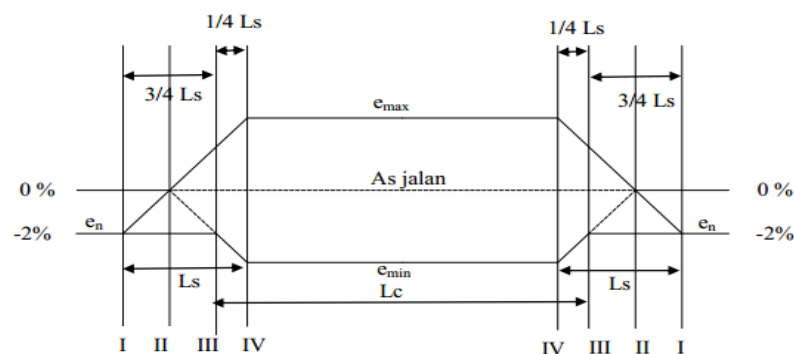
e = tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan (m/m/detik)

Untuk $V_r \leq 70$ km/jam, $e_{re-max} = 0,035$ m/m/detik, untuk

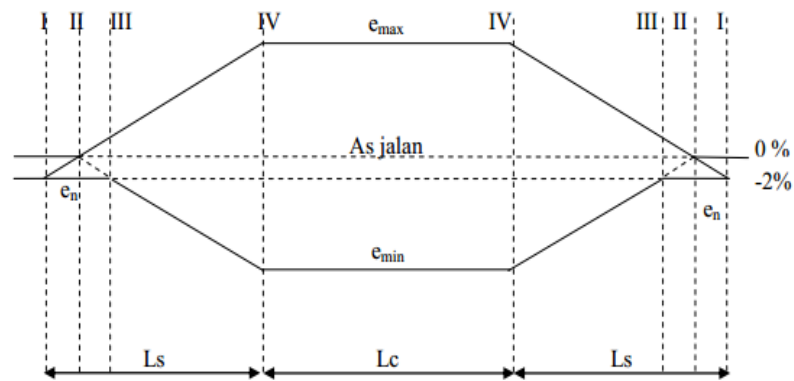
$V_r \geq 80$ km/jam, $e_{re-mak} = 0,025$ m/m/detik

E. Diagram Superelevasi Menurut Bina Marga

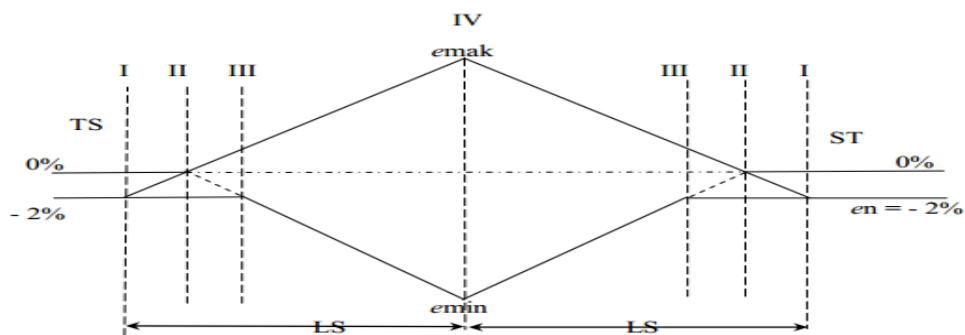
Pencapaian superelevasi masing-masing bentuk tikungan dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 2. 4 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe FC



Gambar 2. 5 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SCS



Gambar 2. 6 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan SS

F. Landai Relatif

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

$$\frac{1}{m} = \frac{(e+en)B}{L_s} \dots\dots\dots (2.34)$$

Keterangan :

$$\frac{1}{m} = \text{Landai relatif (m)}$$

$$e = \text{Superelevasi (m/ m')}$$

$$en = \text{Kemiringan melintang normal (m /m')}$$

$$B = \text{Lebar lajur (m)}$$

G. Pelebaran Pada Tikungan

$$B = n (b' + c) + (n - 1) Td + Z \dots\dots\dots (2.35)$$

$$b' = b + R - \sqrt{R^2 + P^2} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$Td = \sqrt{R^2 - A(2P + A)} - R \dots\dots\dots (2.37)$$

$$Z = 0,105 \frac{Vr}{R} \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

B = Lebar perkerasan pada tikungan (m)

n = Jumlah lajur lalu lintas

b' = Lebar lintasan truck pada tikungan (*off tracking*)

c = Kebebasan samping (0,8 m)

Td = Lebar tambahan pengaruh dari tonjolan depan kendaraan

Z = Lebar tambahan akibat kesukaran pengemudi Lebar tambahan perkerasan untuk mengimbangi off tracking

b = Lebar kendaraan (2,5 m)

P = Jarak antara garden kendaraan (6,5 m)

A = Panjang bagian depan kendaraan diukur dari as depan (1,5 m)

V = Kecepatan rencana

R = Jari-jari tikungan.

H. Tikungan Balik Dan Gabungan

Tikungan gabungan adalah dua atau lebih tikungan yang bersebelahan yang dapat dibedakan menjadi tikungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putar yang berbeda.

Pada dasarnya tikungan gabungan searah kurang disarankan untuk digunakan. Kondisi khusus dapat diterapkan dengan menyediakan bagian lurus atau spiral diantara dua tikungan yang bersebelahan. Bina Marga menyarankan untuk memeberikan jarak anatara tikungan pada tikungan searah minimal 20 meter dan 30 meter pada tikungan gabungan balik.

I. 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.

2.2.3 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal terdiri atas bagian landai vertikal dan bagian lengkung vertikal, di tinjau dari titik awal perencanaan bagian landai vertikal dapat berupa landai positif (tanjakan), landai negatif (turunan), atau landai nol (datar) lalu bagian lengkung vertikal dapat berupa lengkung cembung dan lengkung cekung.

A. Landai Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak.

Tabel 2. 11 Kelandaian Maksimum yang Diijinkan

VR (km/ jam)	120	110	100	80	60	50	40	< 40
Kelandaian maksimum	3	3	4	5	8	9	10	10

Sumber : TPGJK 1997

B. Panjang Landai Kritis

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

Tabel 2. 12 Panjang Kritis (m)

Kecepatan pada awal tanjakan km/jam	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	460	360	270	630	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber : TPGJK 1997

C. Panjang Lengkung Vertikal

- Lengkung vertikal cembung

Panjang L, berdasarkan jarak pandang henti (Jh)

$$Jh < L, \text{ maka : } L = \frac{A.Jh^2}{405} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$Jh > L, \text{ maka : } L = 2 Jh - \frac{405}{A} \dots\dots\dots (2.40)$$

Panjang L berdasar jarak pandang mendahului (Jd)

$$Jd < L, \text{ maka : } L = \frac{A.Jd^2}{840} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$Jd > L, \text{ maka : } L = 2 Jd - \frac{840}{A} \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan :

L = Panjang lengkung vertikal (m)

Jh = Jarak pandangan henti (m)

Jd = Jarak pandangan mendahului atau menyiap (m)

A = Perbedaan grade (m), $A = g_1 - g_2 \%$

PLV = Titik awal lengkung parabola.

PV1 = Titik perpotongan kelandaian g1 dan g2

g = Kemiringan tangen ; (+) naik; (-) turun.

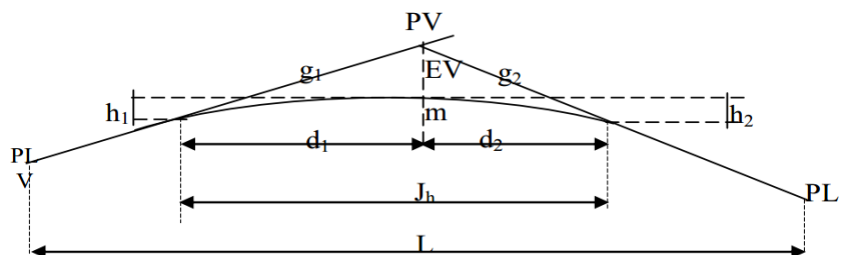
EV = Pergeseran vertikal titik tengah besar lingkaran (PV1 - m) meter.

h1 = Tinggi mata pengaruh.

h2 = Tinggi halangan

$$g = \frac{\text{elevasi akhir} - \text{elevasi awal}}{\text{Sta akhir} - \text{sta awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.43)$$

$$Ev = \frac{A.L}{200} \dots\dots\dots (2.44)$$

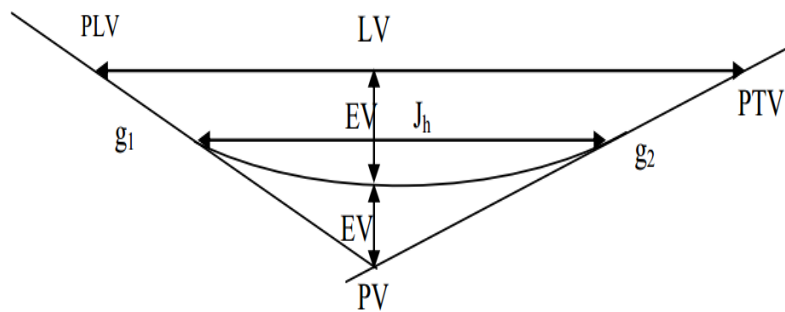


Gambar 2. 7 Parameter dalam Lengkung Vertikal Cembung

- Lengkung Vertikal Cembung

$$Jh < L, \text{ maka: } L = \frac{A.Jh^2}{120+3,5Jh} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$Jh > L, \text{ maka: } L = 2 Jh - \frac{120-3,5Jh}{A} \dots\dots\dots (2.46)$$



Gambar 2. 8 Jarak Pandang pada Lintasan di Bawah (Cekung)

2.2.4 Koordinasi Alinyemen

Alinyemen vertikal, alinyemen horisontal dan potongan melintang jalan arteri perkotaan harus dikoordinasikan sedemikian sehingga menghasilkan suatu bentuk jalan yang baik dalam arti memudahkan pengemudi mengemudikan kendaraannya dengan aman dan nyaman. Bentuk kesatuan ketiga elemen jalan tersebut diharapkan dapat memberikan kesan atau petunjuk kepada pengemudi akan bentuk jalan yang akan dilalui di depannya, sehingga pengemudi dapat melakukan antisipasi lebih awal.

Koordinasi alinyemen vertikal dan alinyemen horisontal harus mempengaruhi ketentuan sebagai berikut :

- Lengkung horisontal sebaiknya berhimpit dengan lengkung vertikal, dan secara ideal alinyemen horisontal lebih panjang sedikit melingkupi alinyemen vertikal.
- Tikungan yang tajam pada bagian bawah lengkung vertikal cekung atau pada bagian atas lengkung vertikal cembung harus dihindarkan.
- Lengkung vertikal cekung pada landai jalan yang lurus dan panjang, harus dihindarkan.
- Dua atau lebih lengkung vertikal dalam satu lengkung horisontal harus dihindarkan.
- Tikungan yang tajam diantara dua bagian jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan

2.2.5 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.

Tabel 2. 13 Contoh untuk Perhitungan Volume Galian Timbunan

Titik	Stasion	Luas Penampang Melintang (m ²)				Jarak	Volume (m ³)	
		Galian	Timbunan	Rata-rata			Galian	Timbunan
				$(G_{n0}+G_n)/2$	$(T_{n0}+T_n)/2$			
A	Sta+Jarak	G1	T1	$(G1+G2)/2$	$(T1+T2)/2$	Jarak Sta	Galian	Timbunan
1	Sta+Jarak	G2	T2					
Σ							ΣG	ΣT

2.3 Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah atau batu belah ataupun bahan lainnya. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal, semen dan tanah liat.

Menurut Sukirman (1999), perencanaan tebal perkerasan lentur jalan baru umumnya dapat dibedakan menjadi 2 metode, yaitu :

1. Metode Empiris

Metode ini dikembangkan berdasarkan pengalaman dan penelitian dari jalan – jalan yang dibuat khusus untuk penelitian atau dari jalan yang sudah ada. Terdapat banyak metode empiris yang telah dikembangkan oleh berbagai negara, seperti :

- a. Metode AASHTO, Amerika Serikat, yang telah mengalami perubahan terus menerus sesuai dengan penelitian yang diperoleh. Perubahan terakhir dilakukan pada edisi 1986 yang dapat dibaca pada buku AASHTO “*Guide For Design of Pavement Structures 1986*”.
- b. Metode Bina Marga, Indonesia yang merupakan modifikasi dari metode AASHTO 1972 revisi 1981. Modifikasi ini dilakukan untuk penyesuaian dengan kondisi alam, lingkungan, sifat tanah dasar, dan jenis lapis perkerasan yang umum dipergunakan di Indonesia. Edisi terakhir dari

metode Bina Marga dikeluarkan tahun 2017, yaitu “ Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017 ”.

- c. Metode NAASRA, Australia yang dapat dibaca pada “ *A Guide to the Structural Design of Road Pavements* ”.
- d. Metode *Road Note 29*, Inggris.
- e. Metode *Road Note 31*, Inggris, metode ini dikeluarkan oleh TRRL khusus untuk perencanaan tebal perkerasan lentur di negara – negara beriklim subtropis dan tropis.
- f. Metode *Asphalt Institute*, yang dapat dibaca pada “ *Thickness Design Asphalt Pavements for Highways and Streets, MS-1* ”.

2. Metode Teoritis

Metode ini dikembangkan berdasarkan teori matematis dari sifat tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan akibat beban berulang dari lalu lintas. Metode teoritis yang umum dipergunakan saat ini berdasarkan teori elastik (*elasyic layered theory*). Teori ini membutuhkan nilai modulus elastisitas dan *Poisson Ratio* dari setiap lapisan perkerasan.

2.3.1 Jenis – Jenis Struktur Perkerasan

Jenis Struktur perkerasan terdiri atas :

1. Perkerasan pada permukaan tanah asli
2. Perkerasan pada timbunan
3. Perkerasan pada galian

Tipikal struktur perkerasan dapat dilihat pada gambar berikut ini :

1. Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (At Grade)



Gambar 2. 9 Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli

2. Perkerasan Lentur pada Timbunan



Gambar 2. 10 Perkerasan Lentur pada Timbunan

3. Perkerasan Lentur pada Galian



Gambar 2. 11 Perkerasan Lentur pada Timbunan

2.3.2 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan baru dinyatakan pada tabel berikut ini

Tabel 2. 14 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UB)

Jenis	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir.	20
	Pondasi 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 Revisi Juni 2017

2.3.3 Lalu Lintas

Lalu lintas di dalam Undang – Undang No 22 Tahun 2009 didefinisikan sebagai gerak kendaraan dan orang di ruang lalu lintas jalan, sedang yang di maksud dengan ruang lalu lintas jalan adalah prasarana yang diperuntukan bagi gerak pindah kendaraan, orang, dan barang yang berupa jalan dan fasilitas pendukung.

A. Analisis Volume Lalu Lintas

Parameter yang penting dalam analisis struktur perkerasan 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.

Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah:

- Beban gandar kendaraan komersial
- Volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban sumbu standar

Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari :

1. Survei lalu lintas, dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Survei dapat dilakukan secara manual mengacu pada Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.
2. Hasil - hasil survei lalu lintas sebelumnya.
3. Nilai perkiraan untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan lalu lintas harian rata - rata tahunan (LHRT) mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Penentuan nilai LHRT didasarkan pada data survei volume lalu lintas dengan mempertimbangkan faktor k.

Perkiraan volume lalu lintas harus dilaksanakan secara realistis. Rekayasa data lalu lintas untuk meningkatkan justifikasi ekonomi tidak boleh dilakukan untuk kepentingan apapun. Jika terdapat keraguan terhadap data lalu lintas maka

perencana harus membuat survai cepat secara independen untuk memverifikasi data tersebut.

B. Data Lalu Lintas

Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan yang efektif. Data harus meliputi semua jenis kendaraan komersial. Apabila diketahui atau diduga terdapat kesalahan data, harus dilakukan penghitungan lalu lintas khusus sebelum perencanaan akhir dilakukan.

C. Jenis Kendaraan

Sistem klasifikasi kendaraan dinyatakan dalam Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B). Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Hanya kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis.

D. 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 data maka Tabel dapat digunakan (2015 - 2035).

Tabel 2. 15 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

	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 Revisi Juni 2017

E. Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen 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. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik merupakan dasar perhitungan ESA yang andal. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila dimungkinkan.

Ketentuan pengumpulan data beban gandar ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 16 Pengumpulan Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar*
Jalan Bebas Hambatan*	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber: Manual Perkerasan Revisi Juni 2017

*Data beban gandar dapat diperoleh dari:

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
2. Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif.
3. Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Timbangan survei beban gandar yang menggunakan sistem statis harus mempunyai kapasitas beban roda (tunggal atau ganda) minimum 18 ton atau kapasitas beban sumbu tunggal minimum 35 ton.

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

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada tabel 2.12 dan tabel 2.13 dapat digunakan untuk menghitung ESA.

Tabel 2.12 menunjukkan nilai VDF regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari data studi WIM yang dilakukan Ditjen Bina Marga pada tahun 2012 - 2013. Data tersebut perlu diperbarui secara berkala sekurang-kurangnya setiap 5 tahun.

Apabila survei lalu lintas dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, dapat digunakan data VDF masing-masing jenis kendaraan menurut tabel 2.13.

Untuk periode beban faktual (sampai tahun 2020), digunakan nilai VDF beban nyata. Untuk periode beban normal (terkendali) digunakan VDF dengan muatan sumbu terberat 12 ton.

Perkiraan beban gandar kawasan dengan lalu lintas rendah dapat mengacu pada Tabel 2.12

Tabel 2. 17 Nilai VDF Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Jawa			
	Beban Aktual		Normal	
	VDF 4	VDF 5	VDF 4	VDF 5
5A	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,5	0,55	0,5	0,55
6B	5,3	9,2	4,0	5,1
7A1	8,2	14,4	4,3	5,6
7A2	10,2	19,0	9,4	3,0
7B1	11,2	18,2	9,4	3,0
7B2	13,7	21,8	12,6	17,8
7C1	11,0	19,8	7,4	9,7
7C2A	17,7	33,0	7,6	10,2
7C2B	13,4	24,2	6,5	8,5
7C3	18,1	34,4	6,1	7,7

Sumber: Manual Perkerasan Revisi Juni 2017

Tabel 2. 18 Nilai VDF Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang Diangkut	Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban	
Klasifikasi Lama	Alternatif					semua kendaraan bermotor	semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 ⁴	VDF 5 ⁵
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan yang Diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/ <i>Pick-up</i> /Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
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	6,00	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

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang Diangkut	Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban	
Klasifikasi Lama	Alternatif					semua kendaraan bermotor	semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 ⁴	VDF 5 ⁵
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan yang Diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/ <i>Pick-up</i> /Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
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
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
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang Diangkut	Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban	
Klasifikasi Lama	Alternatif					semua kendaraan bermotor	semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 ⁴	VDF 5 ⁵
1	1	Sepeda motor	1.1	Muatan yang Diangkut	2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/ <i>Pick-up</i> /Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
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
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan	1.2.2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang Diangkut	Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban	
Klasifikasi Lama	Alternatif					semua kendaraan bermotor	semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 ⁴	VDF 5 ⁵
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/ <i>Pick-up</i> /Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
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
		trailer penarik 2 sumbu							
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

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang Diangkut	Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban	
Klasifikasi Lama	Alternatif					semua kendaraan bermotor	semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF 4 ⁴	VDF 5 ⁵
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/ <i>Pick-up</i> /Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
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
7c3	14	Truk 6 sumbu – trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

F. Angka Ekuivalen (E) n Sumbu Terberat

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban umum (Setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar sebagai berikut:

Angka ekuivalen sumbu tunggal

$$= \frac{\text{Beban sumbu tunggal (Kg)}^4}{8160} \dots\dots\dots (2.47)$$

Angka ekuivalen sumbu ganda

$$= 0,086 \frac{\text{Beban sumbu ganda (Kg)}^4}{8160} \dots\dots\dots (2.48)$$

Tabel 2. 19 Angka Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

G. LHR dan Lintas Ekuivalen

Lalu lintas harian rata-rata (LHR) setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana. Jumlah kendaraan yang hendak memakai jalan dinyatakan dalam volume lalu lintas. Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan. Untuk perencanaan tebal lapis perkerasan, volume lalu lintas dinyatakan dalam kendaraan/ hari/ 1 arah untuk jalan satu arah atau dua arah terpisah. Data-data lalu lintas dapat diperoleh dari pos-pos

rutin yang ada disekitar. Dari pos-pos rutin tersebut untuk kebutuhan perencanaan tebal lapis.

- Lalu lintas harian rata – rata permulaan (LHR_p)

$$LHR_p = LHR_s \times (1 + i_1)^{n_1} \dots\dots\dots (2.49)$$

- Lalu lintas harian rata – rata akhir (LHR_A)

$$LHR_A = LHR_p \times (1 + i_2)^{n_2} \dots\dots\dots (2.50)$$

Rumus – rumus lintas ekivalen

- Lintas Ekivalen Permulaan (LEP)

$$LEP = \sum_{j=mp}^n (LHR_{pj}) \times C \times E \dots\dots\dots (2.51)$$

- Lintas Ekivalen Akhir (LEA)

$$LEA = \sum_{j=mp}^n (LHR_{Aj}) \times C \times E \dots\dots\dots (2.52)$$

- Lintas Ekivalen Tengah (LET)

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \dots\dots\dots (2.53)$$

- Lintas Ekivalen Rencana (LER)

$$LER = LET \times Fp \dots\dots\dots (2.54)$$

$$Fp = \frac{n_2}{10} \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan :

i_1 = Pertumbuhan lalu lintas masa konstruksi

i_2 = Pertumbuhan lalu lintas masa layanan

j = Jenis kendaraan

n_1 = Masa konstruksi

n_2 = Umur rencana

C = Koefisien distribusi kendaraan

E = Angka ekivalen beban sumbu kendaraan

Fp = Faktor Penyesuaian

2.3.4 CBR Desain Tanah

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Pengelompokan awal dapat dilakukan berdasarkan hasil kajian meja dan penyelidikan lapangan atas dasar kesamaan geologi, pedologi,

kondisi drainase dan topografi, serta karakteristik geoteknik (seperti gradasi dan plastisitas).

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, atau membuat segmen yang lebih panjang berdasarkan nilai CBR yang lebih konservatif.

Hal penting lainnya yang harus diperhatikan adalah perlunya membedakan daya dukung rendah yang bersifat lokal (setempat) dengan daya dukung tanah dasar yang lebih umum (mewakili suatu lokasi). Tanah dasar lokal dengan daya dukung rendah biasanya dibuang dan diganti dengan material yang lebih baik atau ditangani secara khusus.

Dua metode perhitungan CBR karakteristik diuraikan sebagai berikut.

A. Metode Analitis

$$\text{CBR rata-rata segemen pertama} = (4+2+3+4+4+6+8+4)/8 = 4,37\%$$

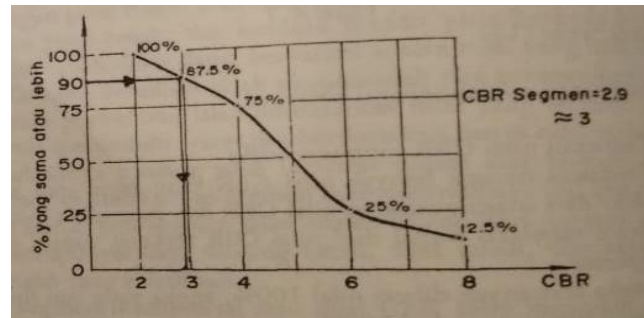
$$\text{CBR segemen} = 4,37 - (8-2)/2,96 = 2,34\%$$

Terlihat dari contoh perhitungan diatas bahwa nilai CBR segmen mendekati nilai CBR terendah dari nilai CBR yang terdapat pada segemen tersebut.

B. Metode Grafis

Nilai CBR

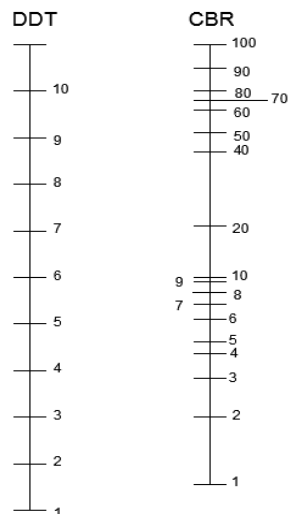
CBR	Jumlah yang sama atau lebih besar	% Yang sama atau lebih besar
2	8	$8/8 \times 100\% = 100\%$
3	7	$7/8 \times 100\% = 87,5\%$
4	6	$6/8 \times 100\% = 75\%$
6	2	$2/8 \times 100\% = 25\%$
8	1	$1/8 \times 100\% = 12,5\%$



Gambar 2. 12 CBR Segmen

2.3.5 Daya Dukung Tanah (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah ditetapkan berdasarkan grafik kolerasi. Daya dukung tanah dasar diperoleh dari nilai CBR atau California Bearing Ratio. Dari nilai CBR yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk suatu jalur tertentu.



Gambar 2. 13 Korelasi DDT dan CBR

2.3.6 Faktor Regional

Faktor regional (FR) adalah faktor koreksi sehubungan dengan adanya perbedaan kondisi. Faktor regional ini dipengaruhi oleh bentuk alinyemen, persentase berat dan iklim. Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam (jari-jari 30m) FR ditambah dengan 0,5. Pada daerah rawa-rawa FR ditambah dengan 1,0

Tabel 2. 20 Faktor Regional (FR)

	Kelayakan I		Kelayakan I		Kelayakan II	
	(< 6 %)		(6 – 10 %)		(> 10%)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklm I	0,5	1,0 – 1,5	1	1,5 – 2,0	1,5	2,0 – 2,5
< 900 mm/tahun						
Iklm II	1,5	2,0 – 2,5	2	2,0 – 3,0	2,5	3,0 – 3,5
≥ 900 mm/tahun						

Sumber : SKBI-2.3.26.1987

2.3.7 Indeks Permukaan (IP)

Indeks Permukaan ini menyatakan nilai dari pada kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu-lintas yang lewat. Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini:

IP = 1,0 : adalah menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP = 1,5 : adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus)

IP = 2,0 : adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap.

IP = 2,5 : adalah menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor – faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah lintas ekuivalen rencana (LER), menurut tabel dibawah ini :

- Indeks permukaan awal, Dalam menentukan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana.

Tabel 2. 21 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IP0)

Jeni Lapis Perkerasan	Ipo	Roughnees *) mm/km
LASTON	$\geq 4,0$	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	< 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
Jeni Lapis Perkerasan	Ipo	Roughnees *) mm/km
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	-
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	-

- Indeks Permukaan Akhir (IPt), Dalam menentukan Indeks Permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah lintas ekivalen rencana (LER).

Tabel 2. 22 Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IPt)

LER = Lintas Ekuivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Alteri	Tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2	-
100 – 1000	1,5 – 2,0	2	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

2.3.8 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien kekuatan relatif (a) masing-masing bahan dan kegunaannya sebagai lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah, ditentukan secara korelasi sesuai nilai Marshall Test (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang distabilisasi dengan semen atau kapur), atau CBR (untuk bahan lapis pondasi bawah).

Tabel 2. 23 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien			Kekuatan			Jenis Bahan
Kekutan Relatif			Bahan			
a1	a2	a3	Ms (kg)	Kt kg/cm ²	CBR %	
0,4		-	744	-	-	LASTON
0,35		-	590	-	-	
0,32		-	454	-	-	
0,3		-	340	-	-	
0,35		-	744	-	-	LASBUTAG
0,31		-	590	-	-	
0,28		-	454	-	-	
0,26		-	340	-	-	
0,3		-	340	-	-	HRA

Koofisien			Kekuatan			Jenis Bahan
Kekutan Relatif			Bahan			
A1	A2	A3	Ms (kg)	Kt kg/cm ²	CBR %	
0,26		-	340	-	-	Aspa Macadam
0,25		-	-	-	-	LAPEN (mekanis)
0,2		-	-	-	-	LAPEN (manual)
-	0,28	-	590	-	-	LASTON ATAS
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	LAPEN (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	LAPEN (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Pondasi Macadam (Basah)
-	0,12	-	-	-	60	Pondasi Macadam
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (C)
-	-	0,13	-	-	70	Sitru/pitrun (A)
-	-	0,12	-	-	50	Sitru/pitrun (B)
-	-	0,11	-	-	30	Sitru/pitrun (C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah/lempung

2.3.9 Batas Minimum Tebal Perkerasan

Batas-batas minimum tebal perkerasan berdasarkan pemakaian jalan maka dalam penentuan dimensi perkerasan mengacu kepada batas-batas yang diizinkan dalam menerima beban.

Tabel 2. 24 Batas Minimum Tebal Lapisan Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung : (Buras/Burtu,Burda)
3,00 – 6,70	5	Lapan/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapan/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, Laston
$\geq 10,00$	10	Laston

Tabel 2. 25 Batas Minimum Tebal Lapisan Pondasi

ITP	Tebal Minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laton atas

ITP	Tebal Minimum	Bahan
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston atas
$\geq 12,25$	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston atas

2.3.10 Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

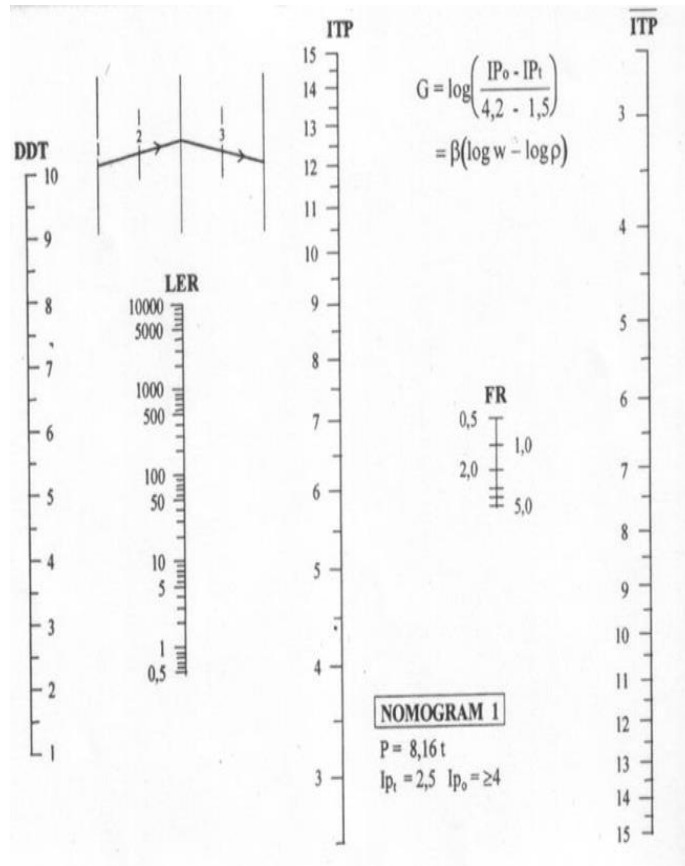
$$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3 \dots\dots\dots (2.56)$$

Keterangan :

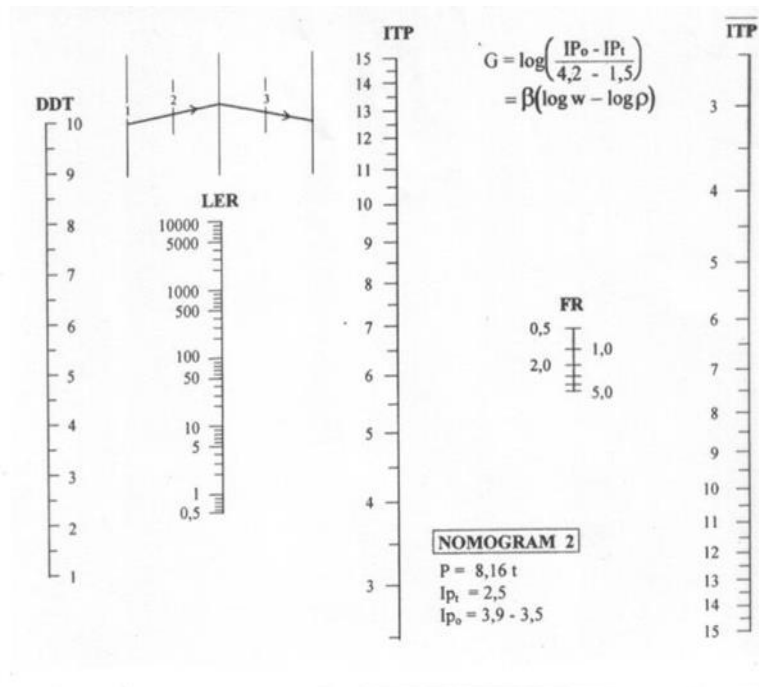
$a_1 a_2 a_3$ = Koefisien kekuatan relatif bahan-bahan perkerasan

$D_1 D_2 D_3$ = Tebal masing-masing perkerasan (cm)

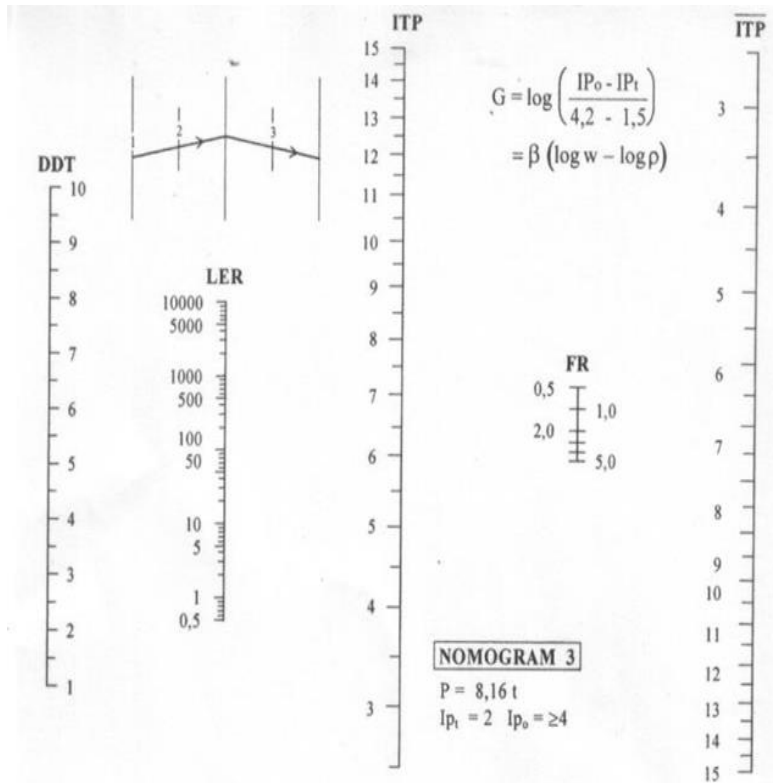
Angka-angka 1,2,3 masing- masing berarti lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah.



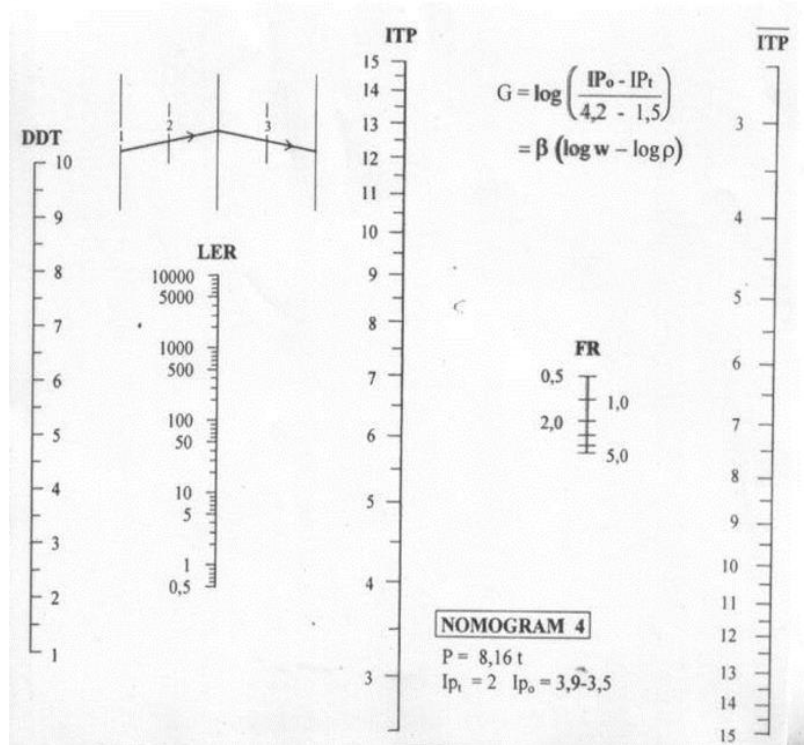
Gambar 2. 14 Nomogram 1 untuk $IP_t = 2,5$ dan $IP_o = \geq 4$



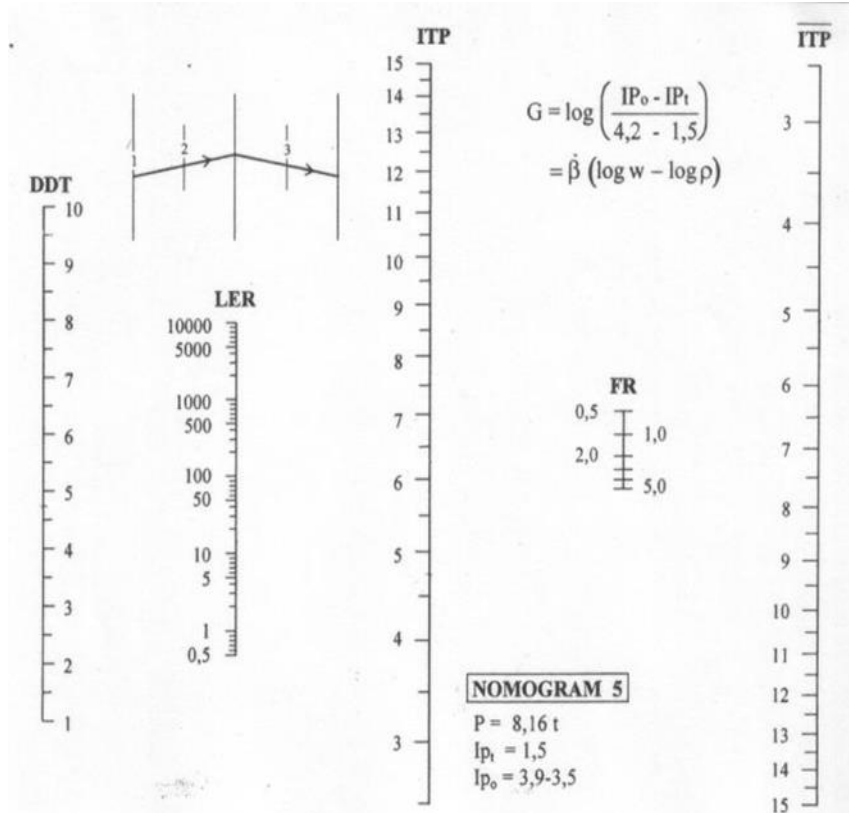
Gambar 2. 15 Nomogram 2 untuk $IP_t = 2,5$ dan $IP_o = 3,9 - 3,5$



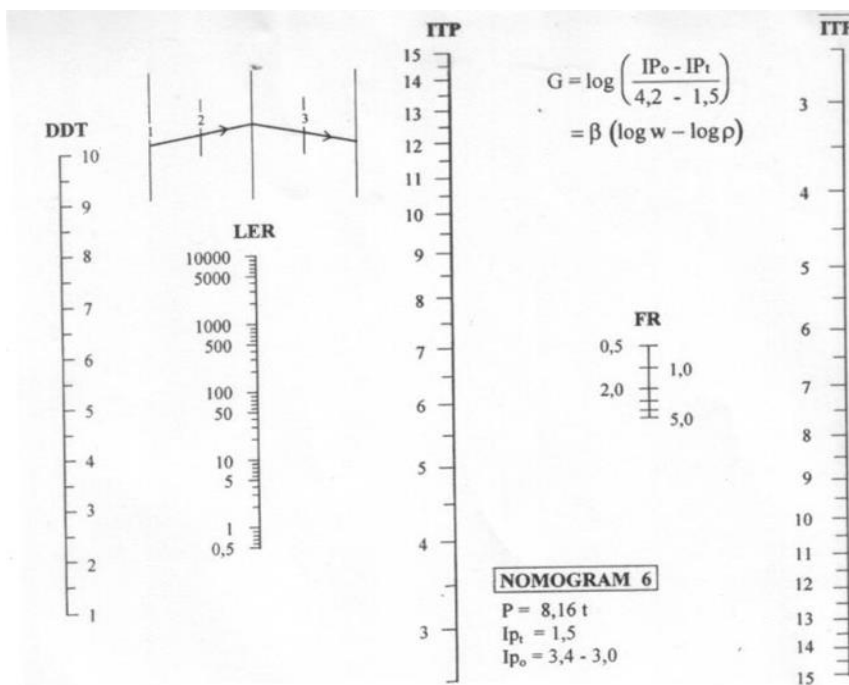
Gambar 2. 16 Nomogram 3 untuk $I_{p1} = 2$ dan $I_{p0} \geq 4$



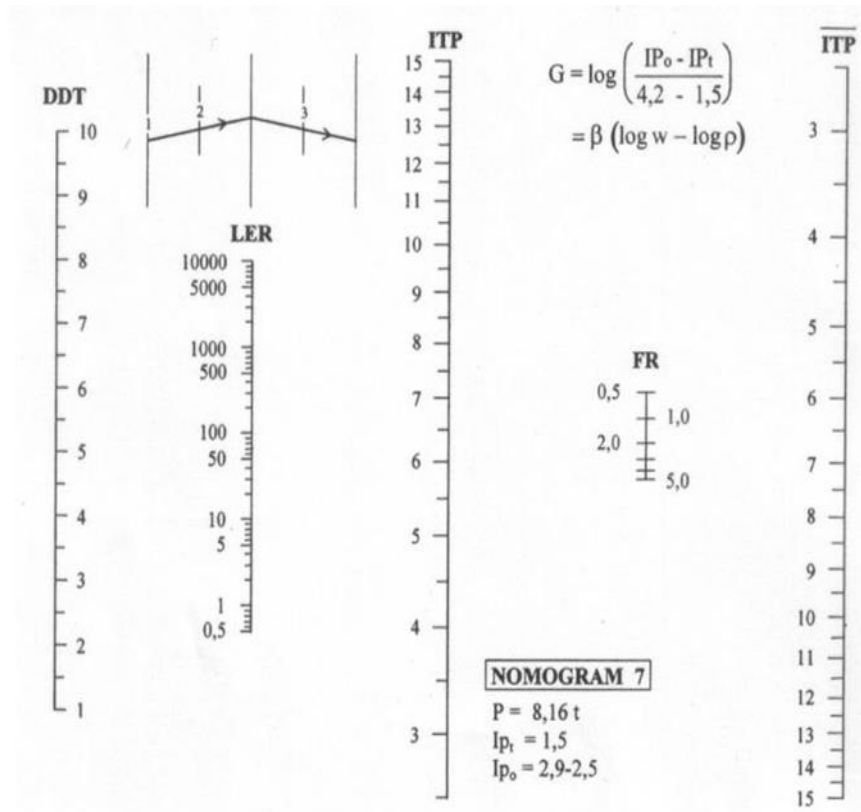
Gambar 2. 17 Nomogram 4 untuk $I_{p1} = 2$ dan $I_{p0} = 3,9 - 3,5$



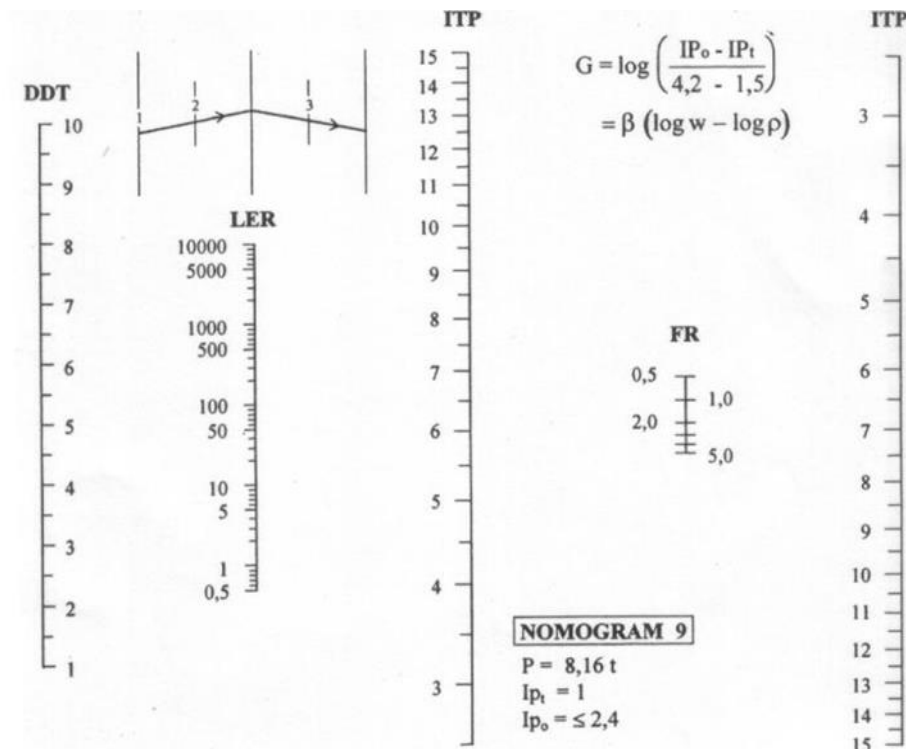
Gambar 2. 18 Nomogram 5 untuk $I_{pt} = 1,5$ dan $I_{po} = 3,9 - 3,5$



Gambar 2. 19 Nomogram 6 untuk $I_{pt} = 1,5$ dan $I_{po} = 3,4 - 3,0$



Gambar 2. 20 Nomogram 7 untuk $I_{pt} = 1,5$ dan $I_{po} = 2,9 - 2,5$



Gambar 2. 21 Nomogram 9 untuk $I_{pt} = 1$ dan $I_{po} \geq 2,4$

2.4 Perencanaan Drainase

Drainase didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebih dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. Sedangkan drainase (S.N.1997).

Kurang perencanaan dimensi drainase jalan yang sesuai dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan konstruksi jalan, karena banyaknya air drainase yang masuk ke badan jalan sehingga aspal jalan mudah terkelupas karena musuh dari aspal adalah air. Maka perlunya perencanaan sistem drainase jalan harus dilaksanakan dengan baik dan terencana. Air hujan/air limpasan dari daerah disekitar jalan harus dialirkan ke sungai atau ke tempat-tempat pembuangan lainnya dengan melalui saluran tepi jalan dan bangunan air yang melintas jalan.

2.4.1 Analisis Hidrologi

Metode Analisis, Berdasarkan SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana.

1. Metode Rata-rata Aljabar, cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah bersangkutan.

$$R = 1/n(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2.58)$$

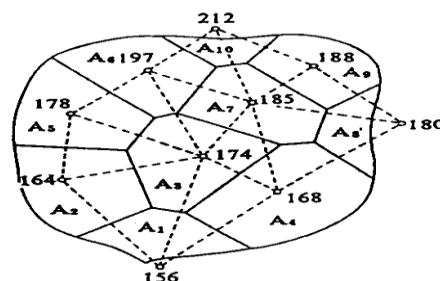
Keterangan :

R = Curah hujan daerah

n = Jumlah titik atau pos pengamatan

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap titik pengamatan

2. Metode Thiessen, jika titik-titik di daerah pengamatan didalam daerah itu tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan.



Gambar 2. 22 Polygon Thiessen

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan :

\bar{R} = Hujan rata rata suatu DAS

R = Hujan di tiap tiap stasiun

A = Luas area dibatasi polygon

3. Metode Isohyet, adalah cara rasional yang terbaik jika garis-garis isohayet dapat digambar dengan teliti.

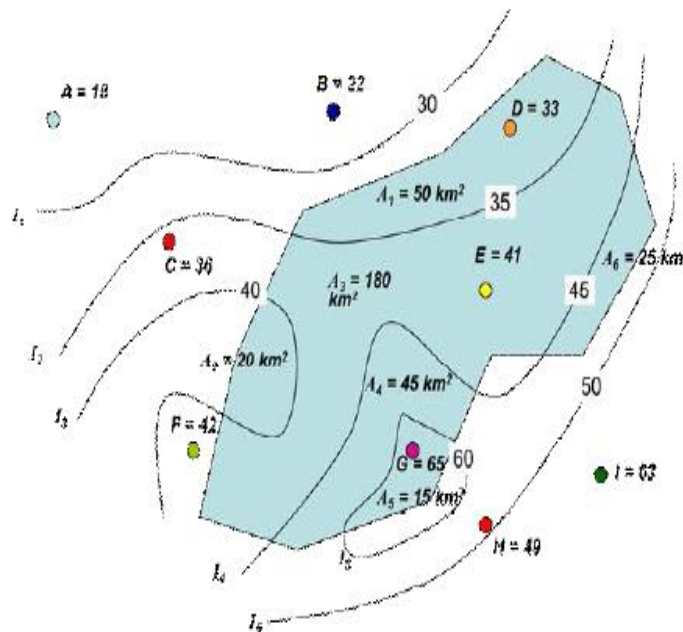
$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \text{ atau } \bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.59)$$

keterangan :

\bar{R} = Hujan rata rata suatu DAS

I = Garis isohyet ke i

A = Luas area dibatasi poligon



Gambar 2. 23 Polygon Isohyet

2.4.2 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 di masa yang

akan datang dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan di masa akan datang akan masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Tabel 2. 26 Syarat Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Syarat
Log Normal	$Cs = 3 Cv + Cv^2 = 0.159$
	$Cv = 0.06$
Log Pearson Tipe III	$Cs \neq 0$
	$Cv = 0.3$
Gumble	$Cs = 1.139$
	$Ck = 5.4$
Normal	$Cs = 0$
	$Ck = 3$

Sumber : SNI 2015-2016 Debit Banjir Rencana

A. Distribusi Gumble

$$X_T = \bar{X} + \left[\frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \right] \times STDEV \dots\dots\dots (2.61)$$

$$X_T = \bar{X} + (K) \times STDEV \dots\dots\dots (2.62)$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[\ln \frac{Tr}{Tr-1} \right] \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan :

X_T = CH/intensitas hujan pada periode Tr

Y_{tr} = Faktor Ln dari Tr

Y_n = Reduce mean factor

S_n = Reduce standard deviation

S = Standard deviation

Tr = Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

Tabel 2. 27 Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,522
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5402	0,5402	0,541	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5463	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5504	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,553	0,5535	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5561	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,558	0,5578	0,558	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5595	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Tabel 2. 28 Nilai Sn

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1866	1,1863	1,1881	1,189	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,193
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,202	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,206

B. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot STDEV \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan :

XT = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T

X = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

KT = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Nilai faktor frekuensi dapat dilihat pada tabel Reduksi Gauss.

Tabel 2. 29 Nilai 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
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
1,000,000	0,001	3,090

C. Distribusi Log Person Tipe III

$$\log(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot STDEV \dots\dots\dots (2.64)$$

$$X_T = 10^{(\overline{\log(X)} + K \cdot STDEV)} \dots\dots\dots (2.65)$$

Keterangan :

XT = CH/intensitas hujan pada Tr

K = Variabel standar bergantung Cs dan G

STDEV = Standard deviation

Tr = Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

Tabel 2. 30 Tabel Distribusi Log Person III

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,667	-0,665	-0,660	-0,636	-0,4760	-0,396	-0,1240	0,420	1,180	2,0950	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,4770	-0,360	-0,0673	0,518	1,250	2,0933	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,752	-0,4707	-0,330	-0,0287	0,574	1,284	2,0807	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,990	-0,949	-0,895	-0,777	-0,4637	-0,307	-0,0017	0,609	1,302	2,0662	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-1,087	-1,020	-0,945	-0,799	-0,4543	-0,282	0,0263	0,643	1,318	2,0472	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,817	-0,4417	-0,254	0,0557	0,675	1,329	2,0240	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-1,318	-1,168	-1,041	-0,832	-0,4273	-0,225	0,0850	0,705	1,337	1,9962	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-1,449	-1,243	-1,086	-0,844	-0,4113	-0,196	0,1140	0,732	1,340	1,9625	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,852	-0,3933	-0,164	0,1433	0,758	1,340	1,9258	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,854	-0,3833	-0,148	0,1577	0,769	1,339	1,9048	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-1,733	-1,388	-1,116	-0,856	-0,3733	-0,132	0,1720	0,780	1,336	1,8877	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,857	-0,3630	-0,116	0,1860	0,790	1,333	1,8613	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,857	-0,3517	-0,099	0,2007	0,800	1,328	1,8372	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
0,5	-1,955	-1,491	-1,216	-0,856	-0,3407	-0,083	0,2140	0,808	1,323	1,8122	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,3290	-0,066	0,2280	0,816	1,317	1,7862	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,3177	-0,050	0,2413	0,824	1,309	1,7590	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-2,178	-1,586	-1,258	-0,850	-0,3053	-0,033	0,2547	0,830	1,301	1,7318	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-2,252	-1,616	-1,270	-0,846	-0,2933	-0,017	0,2673	0,836	1,292	1,7028	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	-0,2807	0,000	0,2807	0,842	1,282	1,6728	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	-0,2673	0,017	0,2900	0,836	1,270	1,6417	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	-0,2547	0,033	0,3053	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	-2,544	-1,726	-1,309	-0,824	-0,2413	0,050	0,3177	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	-0,2280	0,066	0,3290	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	-0,2140	0,083	0,3407	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	-2,755	-1,797	-1,328	-0,800	-0,2007	0,099	0,3517	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	-0,1860	0,116	0,3630	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	-0,1720	0,132	0,3733	0,856	1,166	1,4010	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	-0,1577	0,148	0,3833	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	-0,1433	0,164	0,3933	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	-0,1140	0,195	0,4113	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	-0,0850	0,225	0,4273	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	-0,0557	0,254	0,4417	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	-3,499	-1,981	-1,318	-0,643	-0,0263	0,282	0,4543	0,799	0,945	1,0200	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,600	0,0047	0,307	0,4637	0,777	0,895	0,9483	0,969	0,980	0,990	0,995	1,000

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
	-2,2	-3,705	-2,006	-1,284	-0,574	0,0287	0,330	0,4707	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905	0,907
-2,5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,0673	0,360	0,4770	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799	0,802	0,802
-3,0	-4,051	-2,003	-1,180	-0,420	0,1240	0,396	0,4760	0,636	0,660	0,6650	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber: Soemarto, C.D. 1987

D. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot STDEV \dots\dots\dots (2.67)$$

$$X_T = 10^{(\overline{\log(X)} + K \cdot STDEV)} \dots\dots\dots (2.68)$$

Keterangan :

XT = CH/intensitas hujan pada Tr

K = Varaibel reduksi Gauss

STDEV = Standard deviation

Tr = Tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

2.4.3 Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi (Goodnes Of Fit)

Kecocokan dalam pemilihan fungsi distribusi diuji dengan uji kecocokan menggunakan metode pengujian dan dengan *confidence interval* (tingkat interval kepercayaan) tertentu dapat menggunakan Metode Chi-Square dan Metode Kolmogorov-Smirnov.

A. Uji Chi-Square

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.69)$$

$$K = 1 + 3,322 \times \text{Log}(n) \dots\dots\dots (2.70)$$

$$Dk = K - (p + 1) \dots\dots\dots (2.71)$$

Keterangan :

X^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.

N : Banyaknya data $X^2_{\text{terhitung}} < X^2_{\text{kritis}}$, berarti metode distribusi yang diperiksa dapat diterima.

B. Kolmogrov-Smirnov

Apabila nilai $\Delta < \Delta_{\text{kritis}}$ sesuai harga kritis uji Kolmogorov-Smirnov seperti Tabel 2.22 maka distribusi teoritisnya dapat diterima.

Perhitungan probabilitas dengan rumus Weibul

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \dots\dots\dots (2.72)$$

Keterangan :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = Banyak data

Tabel 2. 31 Harga Kritis Chi-Square

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,0001570	0,0009820	0,0039300	3,8410000	5,0240000	6,6350000	7,8790000
2	0,0100000	0,0201000	0,0506000	0,1030000	5,9910000	7,3780000	9,2100000	10,5970000
3	0,0717000	0,1150000	0,2160000	0,3520000	7,8150000	9,3480000	11,3450000	12,8380000
4	0,2070000	0,2970000	0,4840000	0,7110000	9,4880000	11,1430000	13,2770000	14,8600000
5	0,4120000	0,5540000	0,8310000	1,1450000	11,0700000	12,8320000	15,0860000	16,7500000
6	0,6760000	0,8720000	1,2370000	1,6350000	12,5920000	14,4490000	16,8120000	18,5480000
7	0,9890000	1,2390000	1,6900000	2,1670000	14,0670000	16,0130000	18,4750000	20,2780000
8	1,3440000	1,6460000	2,1800000	2,7330000	15,5070000	17,5350000	20,0900000	21,9550000
9	1,7350000	2,0880000	2,7000000	3,3250000	16,9190000	19,0230000	21,6660000	23,5890000
10	2,1560000	2,5580000	3,2470000	3,9400000	18,3070000	20,4830000	23,2090000	25,1880000
11	2,6030000	3,0530000	3,8160000	4,5750000	19,6750000	21,9200000	24,7250000	26,7570000
12	3,0740000	3,5710000	4,4040000	5,2260000	21,0260000	23,3370000	26,2170000	28,3000000
13	3,5650000	4,1070000	5,0090000	5,8920000	22,3620000	24,7360000	27,3880000	29,8190000
14	4,0750000	4,6600000	5,6290000	6,5710000	23,6850000	26,1190000	29,1410000	31,3190000
15	4,6010000	5,2290000	6,2620000	7,2610000	24,9960000	27,4480000	30,5780000	32,8010000
16	5,1420000	5,8120000	6,9080000	7,9620000	26,2960000	28,8450000	32,0000000	34,2670000
17	5,6970000	6,4080000	7,5640000	8,6720000	27,5870000	30,1910000	33,4090000	35,7180000
18	6,2500000	7,0150000	8,2310000	9,3900000	28,8690000	31,5260000	34,8050000	37,1560000
19	6,8440000	7,6330000	8,9070000	10,1170000	30,1140000	32,8520000	36,1910000	38,5820000
20	7,4340000	8,2600000	9,5910000	10,8510000	31,4000000	34,1700000	37,5660000	39,9970000
21	8,0340000	8,8970000	10,2830000	11,5910000	32,6710000	35,4790000	38,9320000	41,4010000

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
22	8,6430000	9,5420000	10,9820000	12,3380000	33,9240000	36,7810000	40,2890000	42,7960000
23	9,2600000	10,1960000	11,6890000	13,0910000	36,1720000	38,0760000	41,6380000	44,1810000
24	9,8860000	10,8560000	12,4010000	13,8480000	36,4150000	39,3640000	42,9800000	45,5580000
25	10,5200000	11,5240000	13,1200000	14,6110000	37,6520000	40,6460000	44,3140000	46,9280000
26	11,1600000	12,1980000	13,8440000	15,3790000	38,8850000	41,9230000	45,6420000	48,2900000
27	11,8080000	12,8790000	14,5730000	16,1510000	40,1130000	43,1940000	46,9630000	49,6450000
28	12,4610000	13,5650000	15,3080000	16,9280000	41,3370000	44,4610000	48,2780000	50,9930000
29	13,1210000	14,2560000	16,0470000	17,7080000	42,5570000	45,7220000	49,5880000	52,3360000
30	13,7870000	14,9530000	16,7910000	18,4930000	43,7330000	46,9790000	50,8920000	53,6720000

Tabel 2. 32 Harga kritis Kolmogorov Smirnov

n	A			
	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 2015-2016 Debit Banjir Rencana

2.4.4 Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Intensitas curah hujan (°) mempunyai satuan mm/jam, berarti tinggi air persatuan waktu, misalnya mm dalam kurun waktu menit, jam, atau hari.

Menentukan Intensitas Hujan dengan Menggunakan Metode mononbe Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian. Rumus ini dihasilkan di Jepang.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

R24 = Curah hujan maksimum harian (mm)

2.4.5 Debit Puncak Aliran

Metode rasional praktis, Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 5.000 hektar.

$$Qr = \frac{1}{36} C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.74)$$

Keterangan:

Qr adalah debit puncak aliran (m³/s);

C adalah koefisien limpasan;

I adalah intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam);

A adalah luas daerah aliran (km²).

2.4.6 Koefisien pengaliran (C)

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

$$C = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3+\dots+Cn.An.Fk}{A1+A2+A3+\dots+An} \dots\dots\dots (2.75)$$

Keterangan

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

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

Tabel 2. 33 Koefisien Pengaliran dan Faktor Limpasan

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	
	tata guna lahan		

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
1	daerah perkotaan	0.70 - 0.95	2
2	daerah pinggir kota	0.60 - 0.70	1.5
3	daerah industry	0.60 - 0.90	1.2
4	permukiman padat	0.40 - 0.60	2
5	permukiman tidak padat	0.40 - 0.60	1.5
6	taman dan kebun	0.20 - 0.40	0.2
7	persawahan	0.45 - 0.60	0.5
8	perbukitan	0.70 - 0.80	0.4
9	pegunungan	0.75 - 0.90	0.3

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.4.7 Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc)

$$Tc = t1 + t2 \dots\dots\dots (2.76)$$

$$t1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times I_o \times \frac{nd}{\sqrt{i_s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots (2.77)$$

$$t2 = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2.78)$$

Keterangan :

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

t1 = Waktu inlet (menit)

t2 = Waktu aliran (menit)

I_o = Jarak dari titik terjauh kefasilitas drainase (m)

i_s = Kemiringan daerah pengaliran

L = Panjang saluran

V = Kecepatan air rata-rata diselokan (m/dt)

Nd = Koefisien hambatan

Tabel 2. 34 Kemiringan Satuan Memanjang (i_s)

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. 35 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 rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

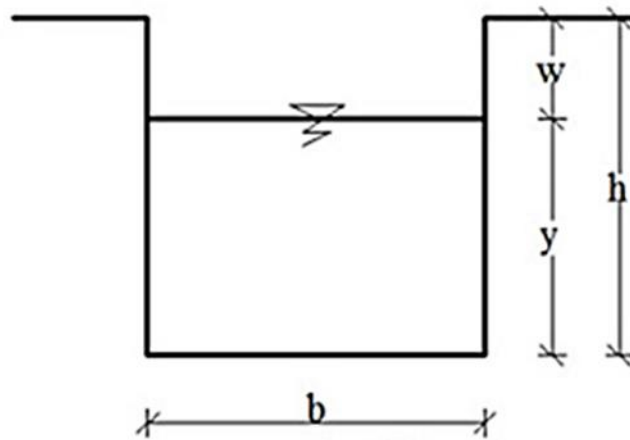
Sumber : Pd.T-02-2006-B

Tabel 2. 36 Kecepatan Aliran Air Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis bahan	Kecepatan aliran yang diizinkan (m/dt)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,5
3	Lanau alivial	0,6
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,1
7	Kerikil kasar	1,2
8	Batu-batu besar	1,5
9	Pasangan batu	1,5
10	Beton	1,5
11	Beton betulang	1,5

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.4.8 Menentukan Dimensi Saluran



Gambar 2. 24 Bentuk Saluran Persegi

Penentuan bahan saluran, koefisien Manning (n), dan kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran dan penentuan kemiringan saluran yang diijinkan.

Menentukan tinggi kedalaman air saluran (h), Hitung tinggi jagaan (W) dan lebar saluran (b), Debit saluran (Q_s)

$$A = b \cdot h \dots\dots\dots (2.80)$$

$$P = b + 2h \dots\dots\dots (2.81)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.82)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (2.83)$$

$$W = \sqrt{0,5} \times h \dots\dots\dots (2.84)$$

$$Q_s = A \times V \dots\dots\dots (2.85)$$

Keterangan :

W = tinggi jagaan(m)

h = kedalaman air yang tergenang dalam saluran(m)

R = jari-jari hidrolis (m)

A = Penampang basah

V = Kecepatan aliran (m/dt)

n = Koefisien kekasaran manning

P = keliling basah(m)

Q_r = Debit Aliran

Q_s = Debit Saluran

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

Bandingkan kemiringan saluran hasil perhitungan (i_s perhitungan) dengan kemiringan tanah yang diukur di lapangan (i_s lapangan)

$$\text{Kemiringan saluran , } i_s = \left(\frac{V \times n}{R^3} \right)^2 \dots\dots\dots (2.83)$$

Kemiringan tanah lokasi yang akan di bangun,

$$i_s = \frac{\text{elevasi1} - \text{elevasi2}}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (2.84)$$

- i_s lapangan $\leq i_s$ perhitungan, artinya bahwa kemiringan saluran yang direncanakan sesuai dengani perhitungan
- i_s lapangan $\geq i_s$ perhitungan, berarti saluran harus dibuatkan pematah arus.

Tabel 2. 37 Hubungan Kemiringan Saluran(i_s) dan Jarak Pematah Arus

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,02	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,03	0,04
3	Saluran pada dinding bantuan, lurus, teratur	0,02	0,03	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding bantuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,04	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang dibedakan ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,03	0,035	0,04
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,03	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,02	0,025	0,028	0,03
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,03	0,033
9	Seperti no.8, tetapi ada timbunan atau kerikil	0,03	0,033	0,035	0,04
10	Melengkung, bersih, berlubang dan ber dinding pasir	0,03	0,035	0,04	0,045

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,04	0,045	0,05	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,04	0,045	0,05
13	Seperti no.10, sebagian berbatu	0,045	0,05	0,055	0,06
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,05	0,06	0,07	0,08
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,1	0,125	0,15
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,03	0,033	0,035
17	Seperti no.10, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,02	0,025	0,03
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,01	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber : Pd.T-02-2006-B

Tabel 2. 38 Kecepatan Alir yang Diizinkan Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Bahan	Kecepatan aliran air yang diizinkan (m/detik)
1	Pasir halus	0.45
2	Lempung kepasiran	0.50
3	Lanau alluvia	0.60
4	Kerikil halus	0.75
5	Lempung kokoh	0.75
6	Lempung padat	1.10
7	Kerikil kasar	1.20
8	Batu-batu besar	1.50
9	Pasangan batu	1.50
10	Beton	1.50
11	Beton bertulang	1.50

Sumber : Pd.T-02-2006-B

