

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Klasifikasi Jalan

Jalan merupakan sarana transportasi darat yang memegang peran penting dalam sektor perhubungan terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa. Keberadaan jalan sangat diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana transportasi yang dapat menjangkau daerah-daerah terpencil yang merupakan sentra produksi pertanian maupun industri.

Jalan pada umumnya dapat digolongkan pada klasifikasi menurut fungsi pelayanan, menurut kelas jalan, keadaan topografi, jalan menurut wewenang pembinaan dan menurut jenis jenis jalan.

2.1.1. Menurut fungsi pelayanan

Jalan raya menurut Undang Undang Nomor 13 Tahun 1980 tentang jalan raya, serta Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 1985, maka sistem jaringan jalan di Indonesia dapat dibedakan pada sistem jalan primer dan jalan sekunder.

2.1.1.1. Sistem jaringan primer

Sistem jaringan jalan primer adalah sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi untuk pengembangan semua wilayah pada tingkatan nasional, yaitu dengan semua simpul jasa distribusi yang kemudian berwujud kota. Jalan primer diperuntukan untuk melayani kendaraan berat serta melayani tingkat kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi.

Jalan primer sangat berperan sebagai urat nadi perekonomian bangsa, berfungsi untuk menjamin kelancaran arus lalu lintas orang dan barang dari suatu tempat ke tempat lainnya, serta menjamin kelancaran pengangkutan pendistribusian bahan-bahan pokok keperluan sehari hari masyarakat

Dengan demikian, maka sistem jaringan jalan primer dapat dibedakan menjadi :

1. Jalan arteri primer

Jalan arteri primer adalah jalan yang menghubungkan antar Ibu Kota Provinsi atau menghubungkan Ibu Kota Provinsi dengan Ibu Kota Kabupaten / Kota.

2. Jalan kolektor primer

Jalan kolektor primer adalah jaringan jalan yang menghubungkan antar kota Kabupten / Kota, atau menghubungkan kota Kabupaen dengan kota kecamatan.

3. Jalan lokal primer

Jalan lokal primer adalah jaringan jalan yang menghubungkan antar kota kecamatan dengan kota pada jenjang dibawahnya .

2.1.1.2. Sistem jaringan jalan sekunder

Jaringan jalan sekunder merupakan jaringan jalan dengan peranan pelayanan jasa distribusi untuk masyarakat dalam kota. Ini berarti bahwa jaringan jalan sekunder direncanakan menurut ketentuan pengaturan tata ruang pembangunan perkotaan, yaitu berfungsi menghubungkan wilayah yang mempunyai fungsi primer dan fungsi sekunder serta pelayanan jaringan jalan dari rumah ke rumah.

Jalan sekunder berfungsi menjamin kelancaran mengumpulkan dan mendistribusikan bahan-bahan pokok kebutuhan masyarakat dari kota-kota besar ke kota-kota yang lebih kecil. Selain itu juga berfungsi untuk melayani keperluan lalu lintas pada daerah sekitarnya.

Dengan demikian, maka sistem jaringan jalan sekunder dapat dibedakan menjadi :

1. Jalana arteri sekunder

Jalan arteri sekunder yaitu jalan yang menghubungkan anara kawasan primer dengan kawasan sekunder dan antara kawasan dekunder dengan kawasan persil dibawahnya.

2. Jalan kolektor sekunder
Jalan kolektor sekunder yaitu jalan yang menghubungkan antara kawasan sekunder ke I, atau jalan yang menghubungkan antara kawasan sekunder ke II dengan sekunder ke II. Jalan lokal sekunder.
3. Jalan lokal sekunder yaitu jalan yang menghubungkan antara kawasan sekunder ke I, kawasan sekunder ke II dan ke III masing-masing dengan kawasan pemukiman / perumahan.

2.1.2. Menurut kelas jalan

Jalan diklasifikasi berdasarkan karakteristik lalu lintas yang lewat, yaitu menurut tingkat kepadatan arus lalu lintas pada waktu tertentu, serta menurut jenis kendaraan, ukuran dan daya angkut kendaraan berdasarkan besarnya beban maksimum sumbu kendaraan bermotor yang diizinkan, atau berdasarkan muatan sumbu terberat (MST). Jumlah lalu lintas yang lewat disebut volume lalu lintas, yaitu berdasarkan jumlah lalu lintas harian rata rata (LHR) dalam satu tahun atau selama 365 hari.

Karena arus lalu lintas yang lewat pada suatu jalan terdiri dari campuran kendaraan ringan dan berat, serta campuran dari kendaraan yang melaju dengan kecepatan cepat, sedang, dan lambat akan menimbulkan pengaruh dari setiap jenis kendaraan terhadap keseluruhan arus lalu lintas.

Selanjutnya setelah menghitung jumlah total lalu lintas harian rata rata (LHR) dalam satuan mobil penumpang (SMP), maka ditetapkan klasifikasi jalan raya menurut kelas dengan berpedoman pada daftar dibawah ini :

Tabel 2. 1 Ketentuan standar klasifikasi jalan

Klasifikasi jalan		Total LHR (dalam SMP)	Beban Gandar Tunggal
Fungsi pelayanan	Kelas Jalan		
Jalan Primer	I	> 20.000	> 10 Ton
Jalan Sekunder	II A	6000 - 20.000	> 5 Ton
	II B	1500 – 8000	< 5 Ton
	II C	< 2000	< 2 Ton
Jalan Penghubung	III	< 2000	< 2 Ton

Sumber : TPGJAK – No. 038/T/BM/1997

2.1.3. Keadaan topografi

Keadaan topografi dalam penetapan trase jalan memegang peranan yang sangat penting karena dapat mempengaruhi penetapan alinyemen, kelandaian jalan, jarak pandang, penampang melintang, saluran tepi dan sebagainya.

Untuk lokasi daerah datar pengaruhnya tidak begitu nyata dalam penentuan trase jalan dapat direncanakan dengan bebas, disesuaikan dengan arah dan tujuan jalan yang direncanakan, sedangkan untuk daerah perbukitan dan daerah pegunungan adalah sebaliknya, topografi sangat mempengaruhi pemilihan lokasi serta penetapan bagian-bagian jalan. Secara umum trase jalan pada daerah perbukitan maupun daerah pegunungan selalu mengikuti kontur dari topografi, sehingga banyak berkelok-kelok karena untuk mempertahankan kelandaian memanjang (*grade*) jalan. Namun kelandaian memanjang tersebut harus disesuaikan dengan persyaratan yang ada, sehingga kendaraan-kendaraan berat mampu melaluinya dengan aman.

Tabel 2. 2 Klasifikasi medan topografi

Medan topografi	Notasi	Kemiringan medan (%)
Datar	D	< 3
Perbukitan	B	3 > 25
Pegunungan	G	> 25

Sumber : TPGJAK – No. 038/T/BM/1997

2.1.4. Klasifikasi Jalan Menurut Wewenang Pembinaan

Jaringan jalan dikelompokkan menurut wewenang pembinaan, terdiri dari:

1. Jalan Nasional

Arteri primer, kolektor primer, yang menghubungkan antar ibu kota provinsi. Selain dari yang termasuk arteri/kolektor primer, yang mempunyai nilai strategis terhadap kepentingan Nasional, yakni jalan yang tidak dominan terhadap pengembangan ekonomi, tapi mempunyai peranan menjamin kesatuan dan keutuhan nasional, melayani daerah-daerah yang rawan dan lain-lain.

2. Jalan Provinsi

- Jalan kolektor primer, yang menghubungkan ibukota Provinsi dengan ibukota Kabupaten/Kotamadya.

- Jalan kolektor primer, yang menghubungkan antar ibukota Kabupaten/Kotamadya.
 - Jalan selain dari yang disebut diatas, yang mempunyai nilai strategis terhadap kepentingan Provinsi, yakni jalan yang biarpun tidak dominan terhadap perkembangan ekonomi, tapi mempunyai peranan tertentu dalam menjamin terselenggaranya pemerintah yang baik dalam Pemerintahan Daerah Tingkat I dan terpenuhinya kebutuhan-kebutuhan sosial lainnya.
 - Jalan dalam Daerah Khusus Ibukota Jakarta, kecuali jalan yang termasuk jalan Nasional.
3. Jalan kabupaten
- Jalan kolektor primer, yang tidak termasuk dalam kelompok jalan Nasional dan kelompok jalan Provinsi.
 - Jalan lokal primer
 - Jalan sekunder lain, selain sebagaimana dimaksud sebagai jalan Nasional, dan jalan Provinsi.
 - Jalan selain dari yang disebutkan diatas, yang mempunyai nilai strategis terhadap kepentingan Kabupaten, yakni jalan yang walaupun tidak dominan terhadap pengembangan ekonomi, tapi mempunyai peranan tertentu dalam menjamin terselenggaranya pemerintahan dalam Pemerintahan Daerah.
4. Jalan Kotamadya
- Jaringan jalan sekunder di dalam Kotamadya
5. Jalan Desa
- Jaringan jalan sekunder di dalam desa, yang merupakan hasil swadaya masyarakat, baik yang ada di desa maupun di kelurahan. Jalan khusus Jalan yang dibangun dan dipelihara oleh instansi/Badan hukum/perorangan untuk melayani kepentingan masing-masing.

2.2. Kecepatan rencana

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh, biasanya dinyatakan dalam km/jam. Perencanaan

jalan yang baik haruslah berdasarkan kecepatan yang ditentukan sesuai dengan kondisi dan fungsi jalan tersebut.

Kecepatan rencana (V_r) adalah kecepatan yang dipilih untuk keperluan setiap bagian jalan seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang, dan lain-lain. Kecepatan rencana tersebut adalah kecepatan tertinggi kendaraan yang dapat berjalan dengan aman dan keamanan tersebut berdasarkan bentuk jalan.

Tabel 2. 3 Kecepatan Rencana (V_r) sesuai klasifikasi fungsi dan klasifikasi medan.

Fungsi	Kecepatan Rencana, V_r , 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

2.3. Kendaraan Rencana

Unsur jalan raya untuk tinjauan komponen geometrik direncanakan berdasarkan karakteristik-karakteristik dari unsur kendaraan, lalu lintas, pengendara, dan faktor-faktor lingkungan. Pertimbangannya adalah, jalan raya harus dapat menampung berbagai jenis kendaraan yang lewat, memberikan kemudahan pada para pengendara, dan layak dilalui untuk sejumlah kapasitas lalu lintas rencana, agar jalan aman, nyaman, ekonomis, dan aksesibilitasnya tinggi.

Beberapa parameter perencanaan geometrik dari unsur karakteristik kendaraan antara lain :

a) Dimensi kendaraan rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Lihat Tabel 2.4

Kendaraan rencana dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

1. Kendaraan ringan/kecil, adalah kendaraan yang mempunyai 2 (dua) as dengan empat roda dengan jarak as 2,00 – 3,00 meter. Meliputi : mobil

penumpang, mikrobus, pict – up, dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

2. Kendaraan sedang, adalah kendaraan yang mempunyai dua as gandar, dengan jarak as 3,5 – 5,00 meter. Meliputi : bus kecil, truk dua as dengan enam roda.
3. Kendaraan berat/besar, meliputi bus besar, yaitu bus dengan dua atau tiga gandar, dengan jarak as 5,00 – 6,00 meter.

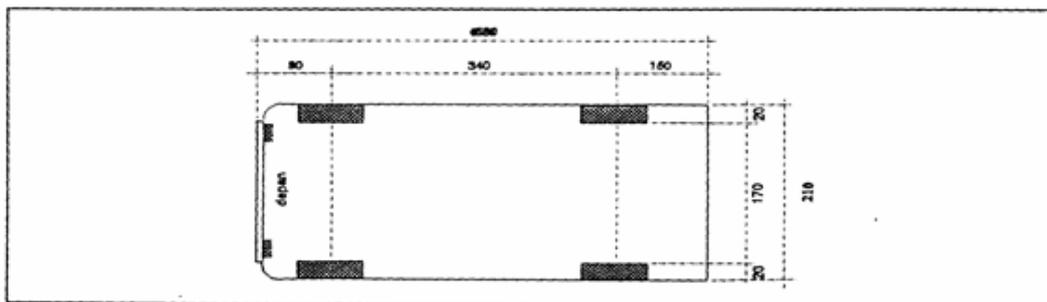
Tabel 2. 4 Dimensi Kendaraan Rencana

Kategori Kendaraan Rencana	Dimensi Kendaraan (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar		Radius Tonjolan (cm)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	Min	Maks	
Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
Sedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
Besar	410	260	2100	120	90	290	1400	1370

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

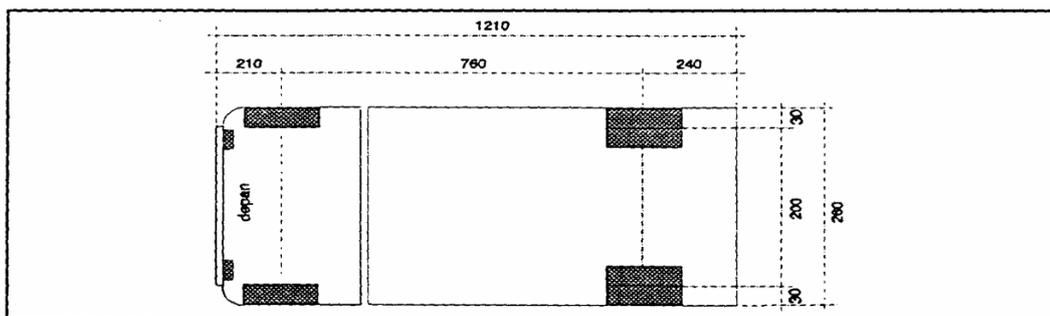
b) Jarak putaran (manuver) kendaraan

Setiap kendaraan mempunyai jangkauan putaran, pada saat kendaraan yang bersangkutan menikung atau memutar pada suatu tikungan jalan. Dimensi kendaraan dapat dilihat pada Gambar 2.1 sampai Gambar 2.3.



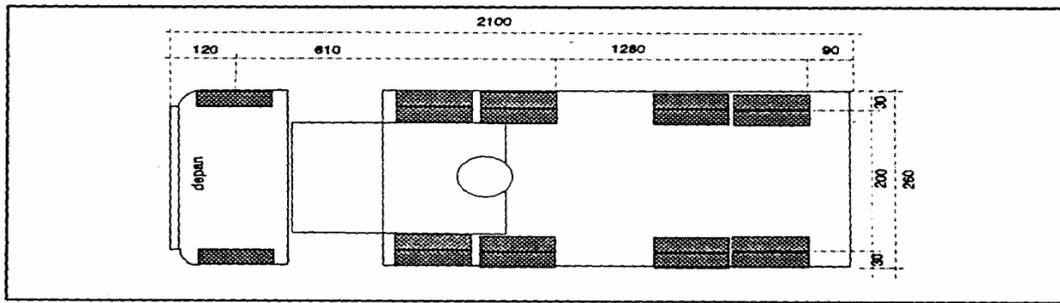
Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Gambar 2. 1 Dimensi kendaraan kecil



Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

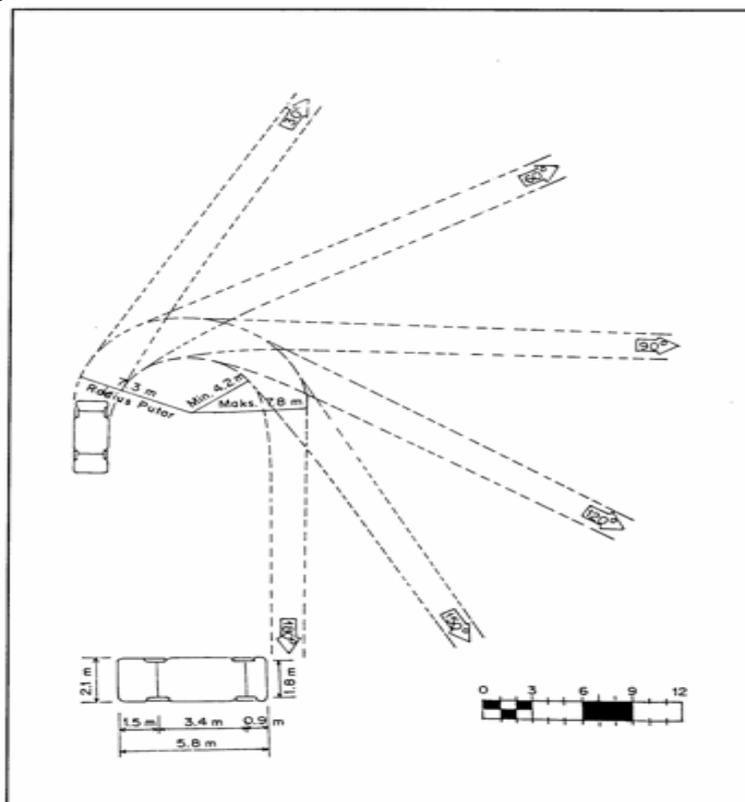
Gambar 2. 2 Dimensi kendaraan sedang



Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

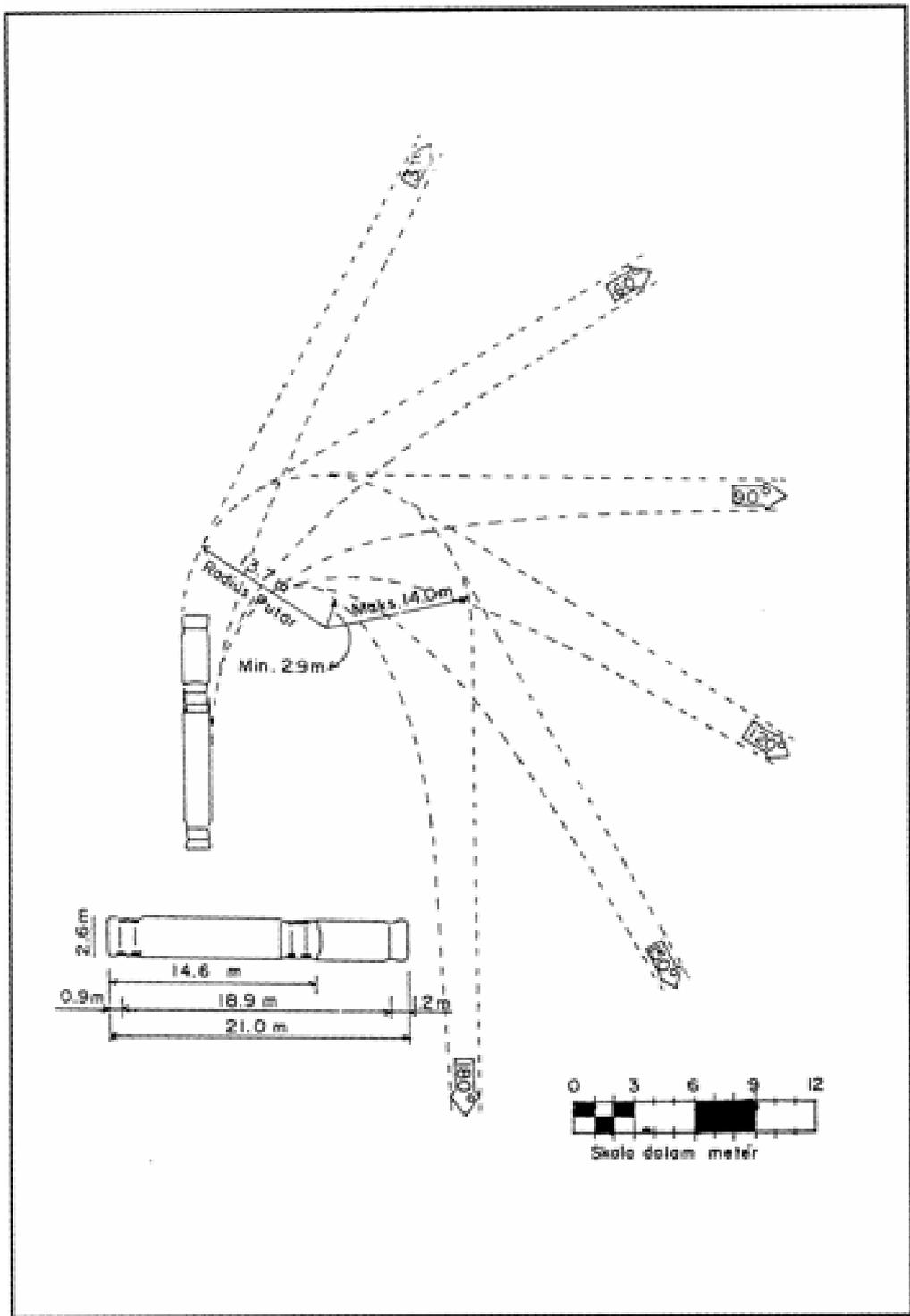
Gambar 2. 3 Dimensi kendaraan besar

Besar jangkauan putar masing-masing kendaraan berbeda satu sama lain, tergantung pada dimensi kendaraan dan radius putar kemudi. Dibedakan pula seperti dimensi kendaraan diatas, jari-jari manuver untuk kendaraan kecil, sedang dan besar. Pada Gambar 2.4. sampai 2.6. dapat dilihat jari-jari putaran tersebut. Ini penting untuk dikaji, dalam merencanakan geometrik dari *intersection* (persimpangan), *round-out*, ataupun pada saat penentuan radius minimum dari suatu tikungan.



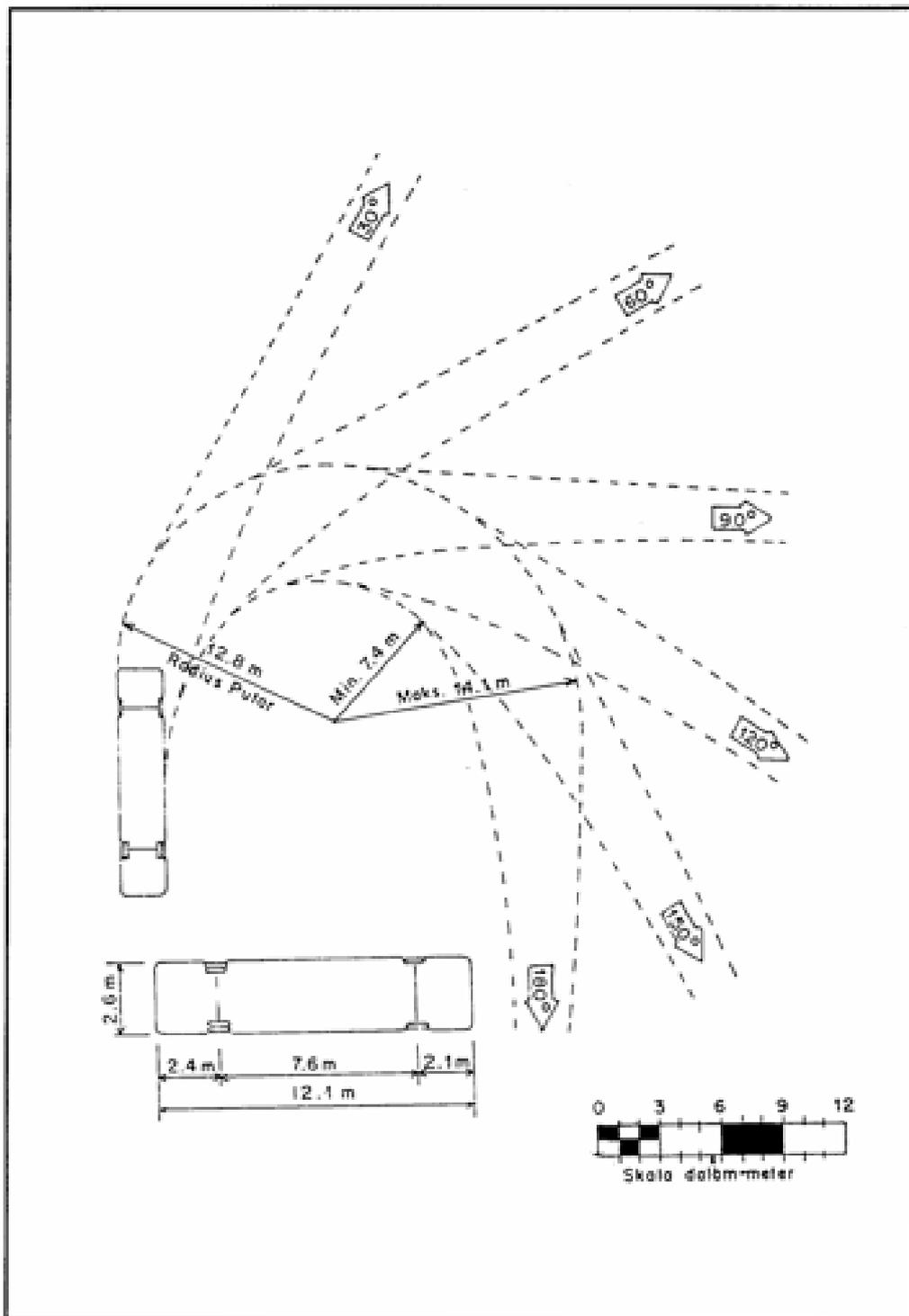
Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Gambar 2. 4 Jari-jari manuver kendaraan kecil



Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Gambar 2. 5 Jari-jari manuver kendaraan sedang



Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Gambar 2. 6 Jari-jari manuver kendaraan besar

c) Satuan mobil penumpang (smp)

Satuan mobil penumpang (smp) adalah unit satuan kendaraan untuk dimensi kapasitas jalan, dalam hal mana sebagai referensi mobil penumpang dinyatakan mempunyai nilai satu smp. Nilai smp dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Ekuivalen mobil penumpang (smp)

No	Jenis Kendaraan	Datar / Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, Jeep, <i>Station Wagon</i>	1,0	1,0
2	Pick-up, Bus Kecil, Truck Kecil	1,2 – 2,4	1,9 – 3,5
3	Bus, dan Truck Besar	1,2 - 5,0	2,2 – 6,0

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

2.4. Jarak Pandang

Jarak pandang (*sight distance*) adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat mengemudi sedemikian, sehingga jika pengemudi melihat sesuatu halangan yang membahayakan, maka pengemudi dapat melakukan suatu tindakan untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman.

Jarak pandang terbagi menjadi dua bagian, yaitu Jarak Pandang Henti (J_h) dan Jarak Pandang Mendahului (J_d).

2.4.1. Jarak Pandang Henti (J_h)

Jarak pandang henti (J_h) adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman, begitu melihat adanya halangan didepan. Setiap titik di sepanjang jalan harus memenuhi jarak pandang henti (J_h). Jarak pandang henti diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 15 cm, diukur dari permukaan jalan. Jarak pandang henti (J_h), terdiri dari dua komponen, yaitu :

- 1) Jarak tanggap (d_1), adalah jarak yang ditempuh oleh kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem.

$$d_1 = 0,278.V.t.....(2. 1)$$

- 2) Jarak pengereman (J_{hr}), adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

$$d_2 = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot f} \text{ Untuk jalan mendatar} \dots \dots \dots (2. 2)$$

$$d_2 = \frac{V^2}{254 (f \pm l)} \text{ Bila ada kelandaian} \dots \dots \dots (2. 3)$$

Jarak pandang henti (Jh), dalam satuan meter, dapan dihitung dengan rumus :

$$J_h = d_1 + d_2$$

- 1) Untuk jalan datar

$$J_h = 0,278 \cdot V \cdot t + \frac{V^2}{254 f} \dots \dots \dots (2. 4)$$

- 2) Untuk jalan dengan kelandaian tertentu

$$J_h = 0,278 \cdot V \cdot t + \frac{V^2}{254 (f \pm l)} \dots \dots \dots (2. 5)$$

Keterangan :

V = kecepatan (km/jam)

t = waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

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

f = koefisien gesek memanjang

l = kelandaian jalan (%)

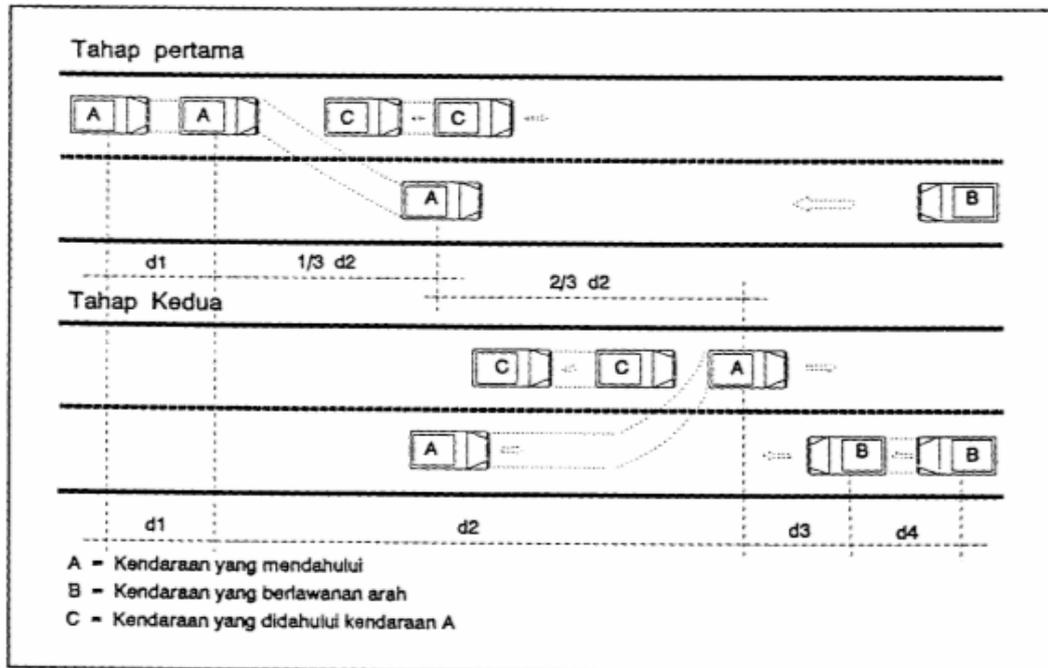
Tabel 2. 6 Jarak Pandang Henti (Jh) minimum

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

2.4.2. Jarak Pandang Mendahului (Jd)

Jarak pandang mendahului (J_d) adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaran lain didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke jalur semula. Gambaran jarak pandang mendahului dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Sumber : Bina Marga, 1997

Gambar 2. 7 Jarak pandang mendahului

Jarak pandang mendahului (J_d), dalam satuan meter ditentukan sebagai berikut :

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \dots\dots\dots(2. 6)$$

Untuk ketentuan jarak pandang minimum, dapat dilihat pada Tabel 2.8

Keterangan :

d_1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

d_2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)

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 yang berlawanan, yang besarnya diambil sana dengan $2/3 d_2$ (m)

Rumus yang dipergunakan adalah :

$$d_1 = 0,278 t_1 (VR - m + \frac{a \cdot t_1}{2}) \dots\dots\dots(2. 7)$$

$$d_2 = 0,278 VR t_2 \dots\dots\dots(2. 8)$$

$d_3 = 30 - 100$ meter (dapat dilihat pada Tabel 2.7)

$$d_4 = 2/3 d_2$$

Keterangan :

t_1 : waktu dalam detik , $\infty 2,12 + 0,026 VR$,

t_2 : waktu kendaraan berada di jalur lawan , (detik), $\infty 6,56 + 0,048 VR$,

a : percepatan rata-rata km/jam/detik, $\infty 2,052 + 0,0036 VR$,

m : perbedaan kecepatan dari kendaraan rata-rata dalam keadaan mendahului dan kendaraan yang didahului (biasanya 10-15 km/jam)

VR : kecepatan kendaraan rata-rata dalam keadaan mendahului, atau kecepatan rencana (km/jam)

d_1 : jarak kebebasan (m)

d_4 : jarak yang ditempuh kendaraan yang datang dari arah berlawanan.

Tabel 2. 7 Besaran d_3

V^R , Km/Jam	50-65	65-80	80-95	95-110
d_3 , (m)	30	55	75	90

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Tabel 2. 8 Panjang Jarak Pandang Mendahului

V^R , Km/Jam	120	100	80	60	50	40	30	20
J_d , (m)	800	670	550	350	250	200	150	100

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Menurut Bina Marga (1997) daerah untuk mendahului, harus disebar di sepanjang jalan dengan jumlah panjang minimum 30 % dari panjang total ruas jalan tersebut.

Asumsi yang diambil pada saat menentukan jarak pandang mendahului :

- 1) Kendaraan yang didahului kecepatannya tetap
- 2) Kecepatan kendaraan yang mendahului lebih besar dari kecepatan kendaraan yang didahului;
- 3) Perlu waktu pengambilan keputusan mendahului bila ruang untuk mendahului telah tercapai;

- 4) Apabila start terlambat pada saat menyiap, harus kembali ke lajur, dan kecepatan rata-rata saat mendahului ± 15 km/jam lebih besar dari kendaraan yang didahului;
- 5) Pada saat kembali ke jalur semula perlu jarak dengan kendaraan yang arahnya berlawanan.

Jarak pandangan diukur dari tinggi mata pengemudi ke puncak sebuah obyek. Menurut Bina Marga, tinggi mata pengukur sebesar $T = 105$ cm. Terdiri dari asumsi tinggi jok yaitu 50 cm ditambah asumsi tinggi mata orang posisi duduk sebesar 55 cm.

2.5. Penampang Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan melintang tegak lurus jalan. Pada potongan melintang jalan dapat terlihat bagian – bagian jalan sebagai berikut :

1. Jalur Lalu Lintas

Jalur lalu lintas adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukan untuk lalu lintas kendaraan. Jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur kendaraan. Jalur lalu lintas dapat terdiri dari beberapa tipe yaitu :

- 1 jalur – 2 lajur – 2 arah (2/2 TB)
- 1 jalur – 2 lajur – 1 arah (2/1 TB)
- 2 jalur – 4 lajur – 2 arah (4/2 B)
- 2 jalur – n lajur – 2 arah (n/2 B)

Keterangan : n = Jumlah lajur

TB = Tidak terbagi

B = Terbagi

Tabel 2. 9 Penentuan Lebar Jalur dan Bahu Jalan

VLHR (smp/hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Lebar Jalur (m)	Lebar Bahu (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	2x7,0*)	2,0	2nx3,5*)	2,0	**)	**)	-	-	-	-

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

Keterangan:

**)

*) = Mengacu pada persyaratan ideal

= 2 jalur terbagi, masing – masing $n \times 3,5$ m, di mana n = Jumlah lajur per jalur

- = Tidak ditentukan

2. Lajur Lalu Lintas

Lajur lalu lintas adalah bagian dari jalur lalu lintas yang memanjang, dibatasi oleh marka jalan, memiliki lebar yang cukup untuk dilewati suatu kendaraan bermotor atau lebih sesuai kendaraan rencana. Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan kendaraan rencana yang dalam hal ini dinyatakan dengan fungsi dan kelas jalan seperti dalam Tabel 2.10

Tabel 2. 10 Lebar Lajur Jalan Ideal

Fungsi	Kelas	Lebar Lajur Ideal (m)
Arteri	I, II, III A	3,75
		3,50
Kolektor	III A, III B	3,00
Lokal	III C	3,00

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

3. Bahu Jalan

Bahu jalan adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang berfungsi sebagai ruangan untuk tempat berhenti sementara kendaraan, pejalan kaki, dan kendaraan lambat

4. Trotoar

Trotoar adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pejalan kaki (*pedestrian*). Lebar trotoar yang dibutuhkan ditentukan oleh volume pejalan kaki, tingkat pelayanan pejalan kaki yang diinginkan, dan fungsi jalan. Untuk itu lebar 1,5 – 3,0 m merupakan nilai yang umum dipergunakan.

5. Median

Median adalah jalur yang terletak ditengah jalan untuk membagi jalan dalam masing – masing arah. Lebar median bervariasi antara 1,0 – 12 m.

2.6. Geometrik jalan

Perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan konstruksi jalan yang meliputi rancangan pola arah dan visualisasi dimensi nyata dari suatu trase jalan beserta bagian-bagiannya yang disesuaikan dengan persyaratan parameter keselamatan dan kenyamanan. Perencanaan geometrik secara umum menyangkut aspek aspek perencanaan elemen jalan seperti lebar

jalan, tikungan, kelandaian jalan, dan jarak pandang serta kombinasi dari bagian bagian tersebut yang tidak merusak lingkungan dan ekosistem wilayah tersebut.

2.6.1. Aliyemen Horizontal

Aliyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, atau sering disebut juga “situasi jalan. Pada bagian aliyemen horizontal akan ditemui bagian jalan, yaitu bagian lurus (biasa disebut “*tangen*”) yang dihubungkan dengan garis garis lengkung dan bagian lengkung yang terdiri dari busur lingkaran ditambah dengan lengkung peralihan atau busus busur peralihan saja maupun busur lingkaran saja dan bagian lengkung atau umumnya disebut tikungan.

2.6.1.1. Panjang bagian lurus

Untuk mempertimbangkan keselamatan dan keamanan pemakai jalan ditinjau dari kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian lurus harus ditempuh dalama waktu $\leq 2,5$ menit (sesuai dengan Vr)

Tabel 2. 11 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi	Panjang bagian lurus maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

Sumber : TPGJAK No 038/TBM/1997

2.6.1.2. Kompenen Tikungan

1. Jari-jari minimum

Untuk memberi kenyamanan berkendara berada ditikungan, maka dibuat suatu kemiringan melintang jalan pada tikungan yang disebut dengan superlevasi. Pada saat kendaraan berada didaerah tikungan akan menerima gaya gesekan melintang jalan, gaya tersebut diakibatkan oleh roda kendaraan dan permukaan aspal yang bergesakan. Perbandingan gaya gesekan melintang dengan gaya normal disebut koefisien gesekan melintang (f).

Rumus penghitungan lengkung horizontal dari buku TPGJAK :

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127x(e + f)}$$

$$Dd = \frac{1432,4}{Rd}$$

Keterangan : Rd : Jari-jari lengkung (m)

Dd : Derajat lengkung (°)

Agar kendaraan terhindar dari kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu dapat dihitung jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum dan koefisien gesekan maksimum.

$$f_{maks} = 0,192 - (0,00065 \times V_r)$$

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127(e_{maks} + f_{maks})}$$

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

Keterangan :

Rmin : Jari-jari tikungan minimum, (m)

Vr : Kecepatan kendaraan rencana, (km/jam)

e_{maks} : Superelevasi maksimum, (%)

f_{maks} : Koefisien gesekan melintang maksimum

Dd : Derajat lengkung (°)

Dmaks : Derajat maksimum

Untuk perhitungan, digunakan emaks = 10 % sesuai table

Tabel 2. 12 Panjang jari-jari minimum (dibulatkan) untuk emaks = 10%

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

V_R (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari – Jari Minimum – Rmin (m)	600	370	210	110	80	50	30	15

Untuk kecepatan rencana < 80 km/jam berlaku $f_{maks} = - 0,00065 V + 0,192$

80 – 112 km/jam berlaku $f_{maks} = - 0,00125 V + 0,24$

2. Batas tikungan tanpa kemiringan

Kemiringan adalah fungsi dari ketajaman tikungan, untuk tikungan-tikungan yang tumpul karena kecilnya kemiringan yang diperlukan dapat saja tidak diadakan kemiringan. Dalam menentukan batas ini, perlu diperhatikan kemiringan minimum yaitu disamakan dengan kemiringan jalana normal yang berlaku yaitu 2% dan besarnya koefisien gesekan yang timbul pada bagian lereng yang berlawanan harus berada dibawah batas aman. Berdasarkan ketentuan ini maka batas tikungan dimana tidak diperlukan superelevasi adalah bilamana jari-jari lebih besar atau sama dengan yang tercantum dalam tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Jari – jari yang diijinkan tanpa superelevasi (Lengkung Peralihan)

Kecepatan rencana - V_R (km/jam)	R (m)
60	700
80	1250
100	2000
120	5000

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

2.6.1.3. Bentuk lengkung peralihan

Sebagai pendekatan dalam menentukan bentuk lengkung peralihan yang paling sesuai, secara teoritis didekati dengan peninjaun terhadap gerakan kendaraan di tikungan. Pada tikungan kendaraan dianggap mempunyai kecepatan sudut yang tetap, dan pengemudi mulai dengan membelokan kemudinya pada saat permulaan memasuki busur lingkaran.

Gerakan kendaraan ditikungan merupakan kombinasi dari gerakan maju dan gerakan berputar, yang berarti kombinasi dari :

$$v = \frac{ds}{dt} \text{ dan } w = \frac{d\alpha}{dt}$$

Dimana :

v = kecepatan linear

w = kecepatan sudut

s = jarak kecepatan sudut

α = sudut putaran

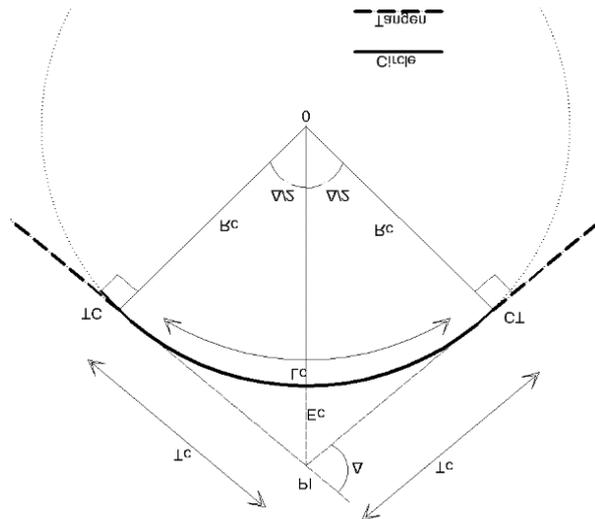
t = waktu

pada perencanaan tikungan jalan terdapat tiga macam bentuk lengkung peralihan yang banyak digunakan, diantaranya :

1. Lengkung (*Full Circle =FC*)

Lengkung *Full Circle* (FC) merupakan lengkung busur lingkaran sederhana yang sangat mudah dibuat, bagian lurus dari jalan adalah sebagai garis *tangen*, dan titik peralihan dari garis *tangen* ke bentuk lengkung busur lingkaran (TC) merupakan titik awal kendaraan mulai membelok, kendaraan akan mengakhiri gerakan membelok di titik CT meninggalkan daerah lengkung busur lingkaran dan kembali memasuki garis *tangen*.

Sekalipun lengkung *full circle* ini sangat mudah dibuat, akan tetapi tidak semua lengkung dengan bentuk busur lingkaran sederhana ini dapat dipergunakan untuk perencanaan tikungan jalan, hanya lengkungan yang memiliki radius besar dan sudut belok yang cukup tumpul yang diperbolehkan menggunakan bentuk lengkung *full circle*.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku 1 geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 8 Lengkung Full Circle

Keterangan :

Δ = Sudut Tikung

O = Titik Pusat Tikung

TC = Tangen to Circle

CT = Circle to Tangen

Rc = Jari – jari busur lingkaran

Tt = 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. 14 Jari-jari tikungan yang tidak memerlukan lengkung peralihan

Vr (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
R _{min}	2500	1500	900	500	350	250	130	60

Sumber : TPGJAK No 038/T/BM/1997

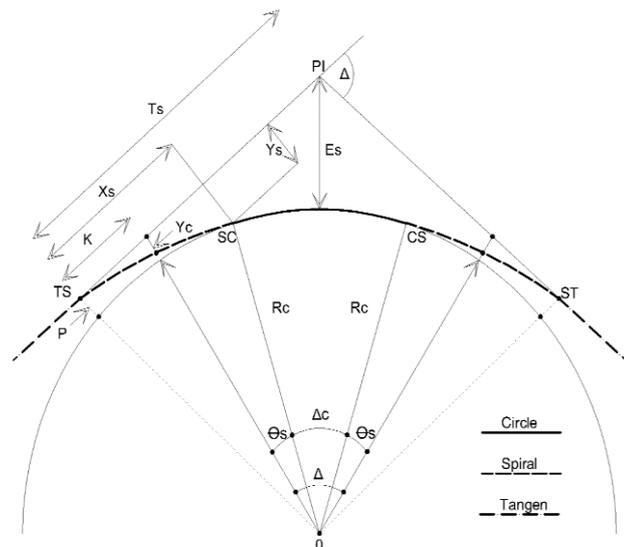
$$T_c = R_c \tan \frac{1}{2} \Delta$$

$$E_c = T_c \tan \frac{1}{4} \Delta$$

$$L_c = \frac{\Delta \cdot 2 \pi R_c}{360^\circ}$$

2. Lengkung *spiral circle spiral* (SCS)

Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan aliyemen yang tiba tiba dari keadaan lurus ke bentuk lingkaran, jadi lengkungan ini dibuat dari bagian lurus ke bagian lingkaran, yaitu pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran. Dengan adanya lengkung peralihan maka dibuat tikungan meggunakan jenis *Spiral circle spiral* (S-C-S) yang sering digunakan juga oleh Bina Marga.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku 1 geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 9 Lengkung *Spiral-Circle-Spiral*

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

Y_s = 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

Es = Jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = Sudut lengkung spiral

Rd = Jari-jari lingkaran

p = Pergeseran tangen terhadap spiral

k = Absis dari p pada garis tangen spiral

$$\theta_s = \frac{L_s \times 360}{2 \times R_d \times 2\pi}$$

$$\Delta c = \Delta PI - (2 \times \theta_s)$$

$$X_s = L_s \times \left(1 - \frac{L_s^2}{40 \times R_d^2}\right)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6 \times R_d}$$

$$P = Y_s - R_d \times (1 - \cos \theta_s)$$

$$K = X_s - R_d \times \sin \theta_s$$

$$Et = \frac{R_d + p}{\cos\left(\frac{1}{2}\Delta\right)} - R_r$$

$$Tt = (R_d + p) \times \tan \frac{1}{2}\Delta + K$$

$$Lc = \frac{\Delta c \times 2 \times \pi \times R_d}{360}$$

$$L_{tot} = Lc + (2 \times Ls)$$

Jika P yang dihitung dengan rumus di bawah, maka ketentuan tikungan yang digunakan bentuk S-C-S.

$$P = \frac{L_s^2}{<0,25 \text{ m}}$$

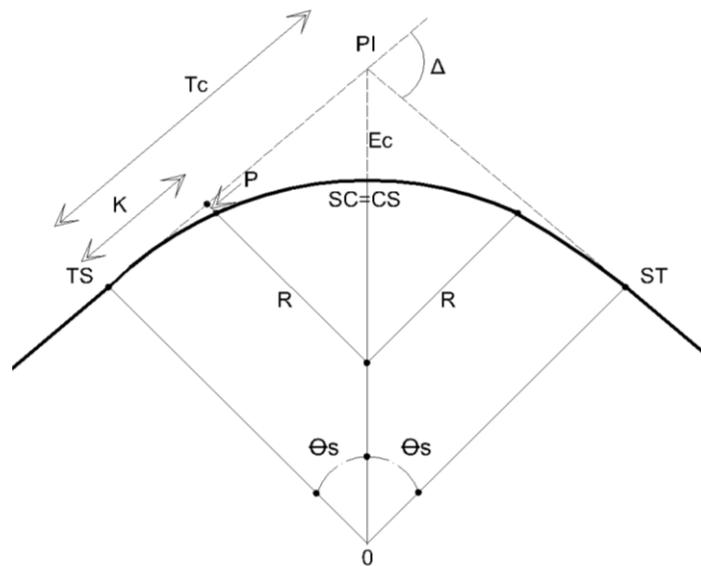
24Rd

Untuk $L_s = 1,0$ m maka $p = p'$ dan $k = k'$

Untuk $L_s = L_s$ maka $P = p' \times L_s$ dan $k = k' \times L_s$

3. lengkungan *spiral-spiral* (S-S)

Lengkung horizontal berbentuk *spiral-spiral* adalah lengkungan yang tidak terdapat lengkung busur lingkaran sehingga titik SC berimpit dengan titik CS. Besarnya radius *circle* harus ditentukan sedemikian rupa sehingga menghasilkan landai relatif minimum yang disyaratkan.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 10 Lengkung *Spiral-Spiral*

Untuk bentuk spiral-spiral berlaku rumus sebagai berikut:

$$L_c = 0 \text{ dan } \theta_s = \frac{1}{2}\Delta \dots\dots\dots (2. 9)$$

$$L_{tot} = 2 \times L_s \dots\dots\dots (2. 10)$$

Untuk menentukan θ_s rumus sama dengan lengkung peralihan.

$$L_c = \frac{\Delta c \times \pi \times R}{90} \dots\dots\dots (2. 11)$$

P, K, Ts, dan Es rumus sama dengan lengkung peralihan.

Tabel 2. 15 besaran p dan k

Θ_s	p'	k'	θ_s	p'	k'
0.5	0.0007272	0.4999987	20.5	0.0307662	0.4977983
1.0	0.0014546	0.4999949	21.0	0.0315644	0.4976861
1.5	0.0021820	0.4999886	21.5	0.0323661	0.4975708
2.0	0.0029098	0.4999797	22.0	0.0331713	0.4974525
2.5	0.0036378	0.4999683	22.5	0.0339801	0.4973311
3.0	0.0043663	0.4999543	23.0	0.0347926	0.4972065
3.5	0.0050953	0.4999377	23.5	0.0356088	0.4970788
4.0	0.0058249	0.4999187	24.0	0.0364288	0.4969479
4.5	0.0065551	0.4998970	24.5	0.0372528	0.4968139
5.0	0.0072860	0.4998728	25.0	0.0380807	0.4966766
5.5	0.0080178	0.4998461	25.5	0.0389128	0.4965360
6.0	0.0087506	0.4998167	26.0	0.0397489	0.4963922
6.5	0.0094843	0.4997848	26.5	0.0405893	0.4962450
7.0	0.0102191	0.4997503	27.0	0.0414340	0.4960945
7.5	0.0109550	0.4997132	27.5	0.0422830	0.4959406
8.0	0.0116922	0.4996735	28.0	0.0431365	0.4957834
8.5	0.0124307	0.4996312	28.5	0.0439946	0.4956227
9.0	0.0131706	0.4995862	29.0	0.0448572	0.4954585
9.5	0.0139121	0.4995387	29.5	0.0457245	0.4952908
10.0	0.0146551	0.4994884	30.0	0.0465966	0.4951196
10.5	0.0153997	0.4994356	30.5	0.0474735	0.4949448
11.0	0.0161461	0.4993800	31.0	0.0483554	0.4947665
11.5	0.0168943	0.4993218	31.5	0.0492422	0.4945845
12.0	0.0176444	0.4992609	32.0	0.050134	0.4943988
12.5	0.0183965	0.4991973	32.5	0.051031	0.4942094
13.0	0.0191507	0.4991310	33.0	0.0519333	0.4940163
13.5	0.0199070	0.4990619	33.5	0.0528408	0.4938194
14.0	0.0206655	0.4989901	34.0	0.0537536	0.4936187
14.5	0.0214263	0.4989155	34.5	0.0546719	0.4934141

Θ_s	p'	k'	θ_s	p'	k'
15.0	0.0221896	0.4988381	35.0	0.0555957	0.4932057
15.5	0.0229553	0.4987580	35.5	0.0565250	0.4929933
16.0	0.0237236	0.4986750	36.0	0.0574601	0.4927769
16.5	0.0244945	0.4985892	36.5	0.0584008	0.4925566
17.0	0.0252681	0.4985005	37.0	0.0593473	0.4923322
17.5	0.0260445	0.4984090	37.5	0.0602997	0.4921037
18.0	0.0268238	0.4983146	38.0	0.0612581	0.4918711
18.5	0.027606	0.4982172	38.5	0.0622224	0.4916343
19.0	0.0283913	0.498117	39.0	0.0631929	0.4913933
19.5	0.0291797	0.4980137	39.5	0.0641694	0.4911480
20.0	0.0299713	0.4979075	40.0	0.0651522	0.4908985

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010.*

2.6.1.4. Kemiringan melintang jalan lurus

Pada jalan yang lurus kendaraan bergerak tanpa membutuhkan kemiringan melintang jalan, namun kemiringan ini dibuat agar air hujan yang jatuh menimpa pekerasan jalan yang dapat mengalir kesamping dan masuk ke saluran tepi dengan cepat, kemiringan melintang jalan yang disebut kemiringan normal.

Besarnya kemiringan normal jalan sangat tergantung pada jenis lapis permukaan jalan yang dipergunakan. Semakin kedap air pada permukaan jalan tersebut, maka kemiringan tersebut dibuat semakin landai, sebaliknya jenis lapis permukaan jalan yang dirembesi oleh air harus mempunyai kemiringan melintang jalan yang cukup besar, sehingga kerusakan konstruksi perkerasan jalan dapat dihindari. Besarnya kemiringan melintang jalan ($= e_n$) berkisar antara 2 – 4 % kemiringan tersebut merupakan bentuk melintang normal jalan pada dengan 2 jalur 2 arah, berbeda dengan kemiringan jalan yang mempunyai median, kemiringan melintang jalan dibuat sesuai dengan masing masing jalur.

2.6.1.5. Landai relatif

Kemiringan melintang atau kelandaian pada penampang jalan diantara tepi perkerasan luar dan sumbu penampang jalan disepanjang lengkung peralihan

disebut landai relatif. Perbedaan elevasi dalam hal ini hanya berdasarkan penampang melintang jalan, belum merupakan gabungan dari perbedaan elevasi akibat kelandaian vertikal. Besarnya landai relatif maksimum dipengaruhi oleh kecepatan dan tingkah laku pengemudi.

Menurut Bina Marga, landai relatif :

$$\frac{1}{m} = \frac{h}{L_s}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{(e + e_n)B}{L_s}$$

Dengan:

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

L_s = panjang lengkung peralihan

B = lebar jalur 1 arah, m

E = superelevasi, m/m'

e_n = kemiringan melintang normal m/m'

Besarnya landai relatif maksimum dipengaruhi oleh kecepatan dan tingkah laku pengemudi.

Tabel 2. 16 Nilai Kelandaian Relatif maksimum

Kecepatan Rencana km/jam	Kelandaian Relatif Maksimum
	Bina Marga (luar kota)
20	1/50
30	1/75
40	1/100
50	1/115
60	1/125
80	1/150
100	

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

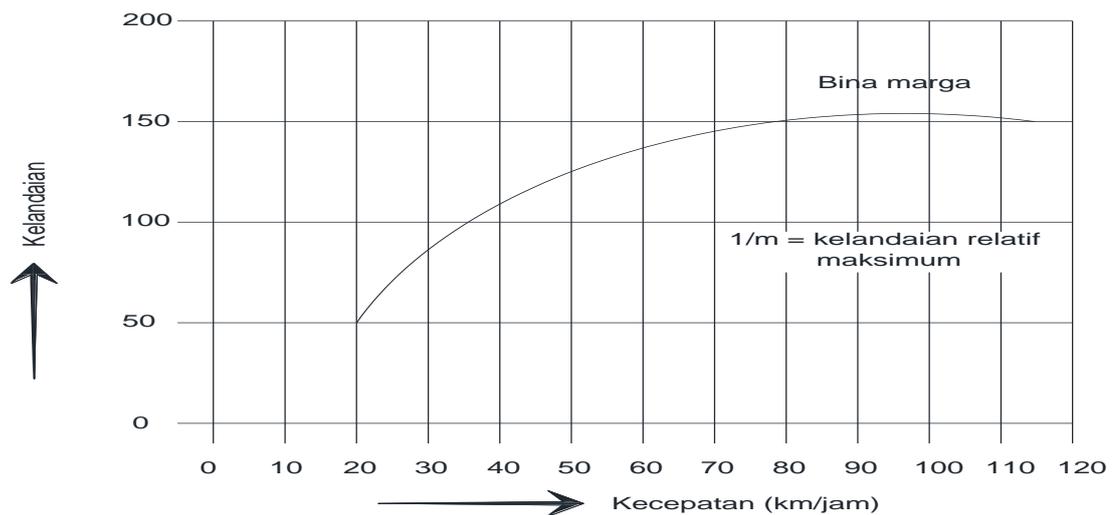
Dari batasan landai relatif maksimum dapat ditentukan panjang lengkung peralihan minimum yang dibutuhkan :

$$\text{Landai Relatif} : \frac{1}{m} = \frac{h}{L_s}$$

$$: m \geq m_{\text{maksimum}}$$

$$: \frac{(e + e_n)B}{L_s} \leq \frac{1}{m_{\text{maks}}}$$

$$: L_s \geq (e + e_n)B \cdot m_{\text{maksimu}}$$



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 11 Kelandaian relatif maksimum

2.6.1.6. Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan melintang permukaan pada lengkung horizontal, kemiringan melintang digunakan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang terjadi karena berlawanan arah tikungan, sehingga menyebabkan kendaraan tergelincir keluar dari lintasannya, keadaan tersebut dapat diminimalisir dengan perubahan secara berangsur-angsur sesuai dengan kecepatan kendaraan mulai dari keadaan jalan lurus dengan kemiringan normal sampai pada daerah tikungan dengan kemiringan melintang maksimum. Dalam mencapai kemiringan melintang suatu tikungan haruslah dipenuhi persyaratan utama perencanaan geometrik, yaitu kenyamanan dan keamanan.

Diagram superelevasi digambarkan berdasarkan sumbu jalan sebagai garis nol, ada tiga cara menggambarkan diagram superelevasi yaitu :

1. Sumbu jalan dipergunakan sebagai sumbu putar
2. Tepi perkerasan jalan sebelah dalam digunakan sebagai sumbu putar
3. Tepi perkerasan jalan sebelah luar dipergunakan sebagai sumbu putar.

Untuk jalan yang mempunyai median (jalan terpisah) pencapaian kemiringan didasarkan pada lebar serta bentuk penampang melintang median yang bersangkutan dan dapat dilakukan menggunakan ketiga cara diatas tersebut, yaitu:

1. Masing-masing perkerasan diputar sendiri-sendiri dengan menggunakan sumbu jalan masing-masing jalur jalan sebagai sumbu putar.
2. Kedua perkerasan diputar sendiri-sendiri dengan sisi median sebagai sumbu putar, sedangkan median dibuat dalam kondisi datar
3. Seluruh jalur jalan termasuk median diputar dalam satu bidang yang sama, dan sumbu putarnya adalah median.

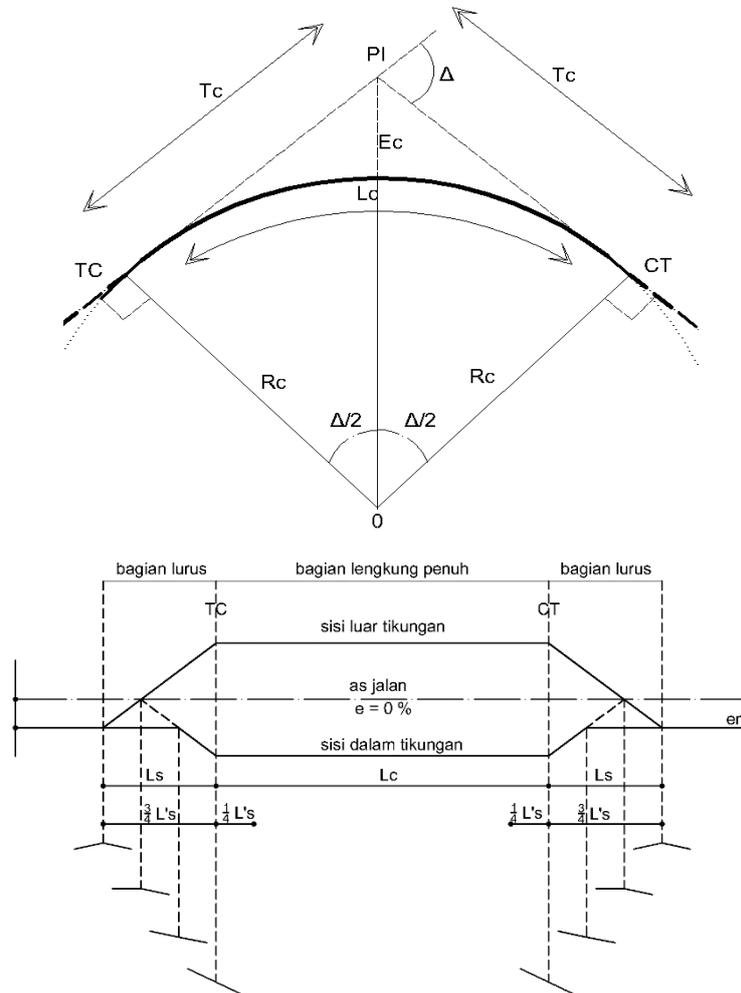
Untuk menunjukkan perubahan keadaan pencapaian kemiringan melintang pada suatu tikungan jalan, mulai dari keadaan lereng normal hingga mencapai kemiringan melintang maksimum pada umumnya dinyatakan dengan gambar “diagram superelevasi” yaitu dengan menggunakan salah satu metoda penggambaran sebagai berikut :

1. Diagram superelevasi lengkung *Full Circle (FC)*

Karena lengkung *full circle* hanya oleh lingkaran, maka pencapaian kemiringan tikungan (superelevasi) dilakukan sebagian pada jalur lurus dan sebagian lainnya pada bagian lengkung. Hal ini terjadi karena bagian lengkung peralihan itu sendiri sesungguhnya tidak ada, sehingga panjang daerah pencapaian kemiringan dinyatakan sebagai “panjang peralihan fiktif (ls)”. Dalam hal ini ls atau ls fiktif tidak terdapat lengkung peralihan khusus, melainkan hanya merupakan panjang yang diperlukan untuk pencapaian kemiringan, yaitu sebesar superelevasi tertentu sepanjang daerah lurus lengkung busur lingkaran.

Bina Marga menemptakan $\frac{1}{3}$ L_s ' dibagian lurus (sebelah kiri TC atau sebelah kanan CT) dan $\frac{1}{4}$ L_s ' ditempatkan dibagian lengkung (sebelah kanan TC atau sebelah kiri CT)

Diagram superelevasi dapat ditentukan bentuk penampang melintang titik TC dan CT, serta titik titik sepanjang titik lengkung.



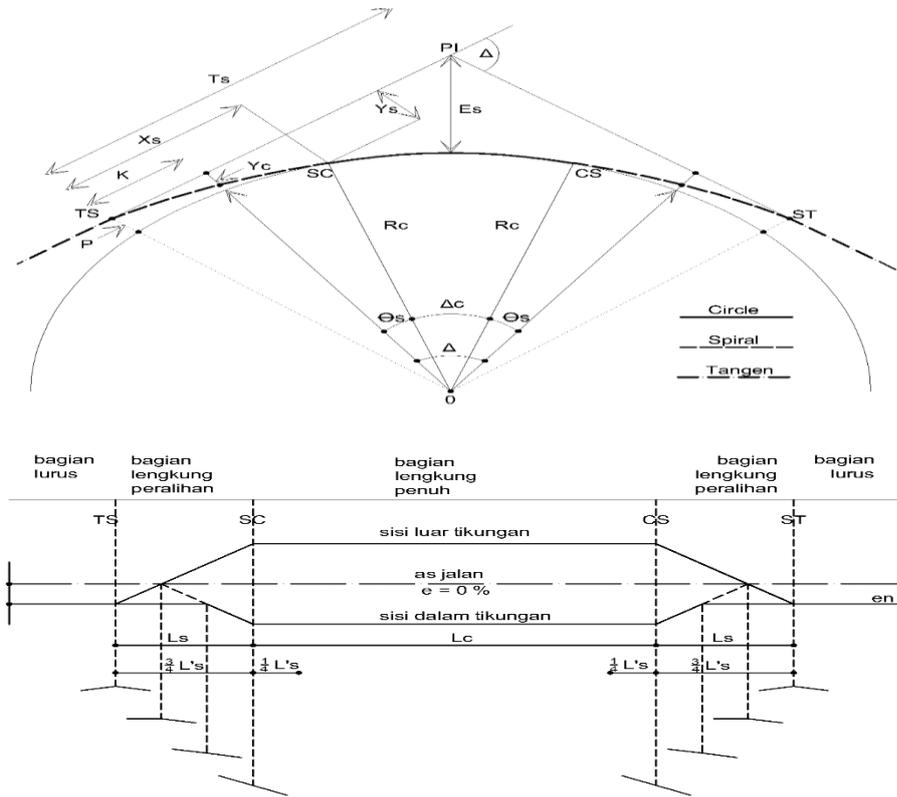
Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 12 Diagram superelevasi pada lengkung *full circle*
(contoh untuk tikungan ke kanan)

2. Diagram superelevasi *Spiral Circle Spiral (SCS)*

Bila telah diketahui lebar jalan sebelum dan setelah adanya pelebaran tambahan pada tikungan, maupun besaran kemiringan melintang normal dan

kemiringan melintang maksimum (e_{maks}) maka dapat digambarkan “*diagram superelevation spiral circle spiral*” sebagai berikut :

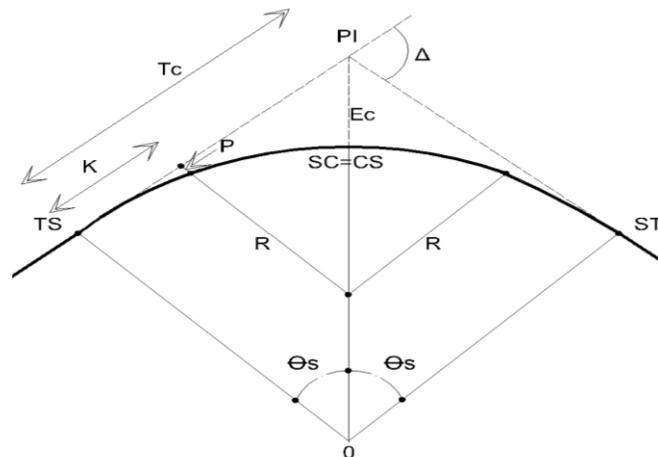


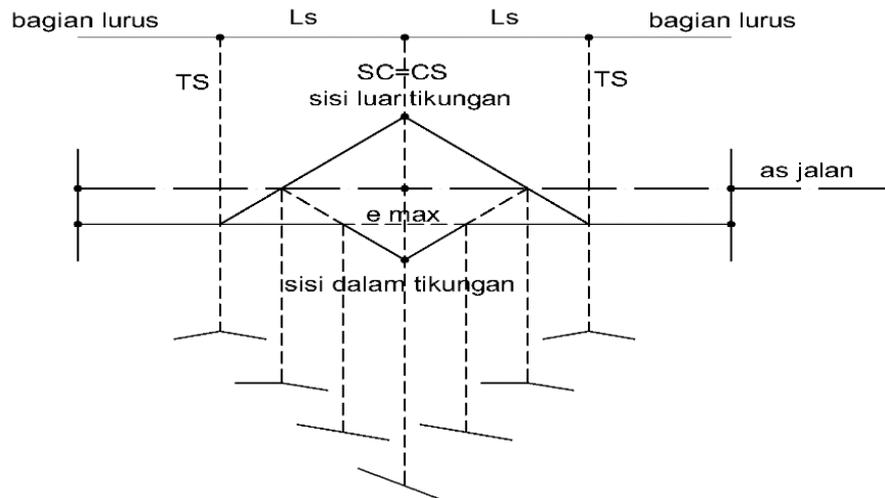
Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku 1 geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 13 Diagram superelevasi pada lengkung *spiral circle spiral* (contoh untuk tikungan ke kanan)

3. Diagram superelevasi *spiral-spiral* (SS)

Diagram superlevasi berbentuk *spiral-spiral* adalah lengkung tanpa busur lingkaran, sehingga titik SC berimpit dengan titik CS. Panjang busur lingkaran.





Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 14 Diagram superelevasi pada lengkung *spiral-spiral*

(contoh untuk tikungan ke kanan)

2.6.1.7. Pelebaran di tikungan

Pelebaran perkerasan atau jalur lalu lintas di tikungan dilakukan untuk mempertahankan kendaraan tetap pada lintasannya (lajurnya) sebagaimana pada bagian lurus. Hal ini terjadi karena pada kecepatan tertentu kendaraan pada tikungan cenderung untuk keluar jalur akibat posisi roda depan dan roda belakang yang tidak sama, yang tergantung dari ukuran kendaraan.

Penentuan pelebaran jalur lalu lintas di tikungan ditinjau dari :

1. Pada waktu membelok yang diberikan sudut belokan hanya roda depan, sehingga lintasan roda belakang menajalani lintasn lebih kedalam dari roda depan (*off tracking*)
2. Jejak kendaraan tidak lagi berimpit, karena bumper depan dan belakang kendaraan mempunyai lintasan yang berbeda antara roda depan dan roda belakang.
3. Pengemudi akan mengalami kesukaran dalam mempertahankan lintasannya tetap pada lajur jalannya, terutama pada tikungan-tikungan yang tajam atau pada kecepatan tinggi

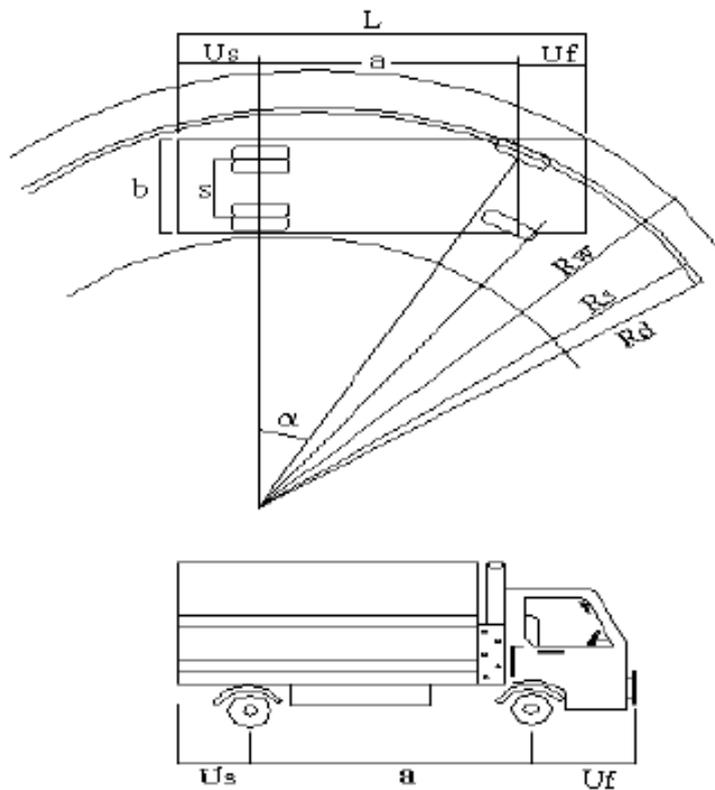
Untuk menghindari hal tersebut diatas, maka pada tikungan yang tajam perlu diadakan pelebaran perkerasan jalan. Secara praktis, perkerasan harus diperlebar, bila radius lengkungan lebih kecil dari 120 m, untuk menjaga agar pandangan bebas kearah samping terhadap kendaraan-kendaraan lain, sedangkan pelebaran tidak diperlukan lagi bilamana kecepatan rencana kurang dari 30 km/jam.

Pelebaran pada lengkung horizontal harus dilakukan secara perlahan-lahan, dimulai dari awal lengkung ke bentuk lengkung penuh dan sebaliknya, hal ini bertujuan untuk memberikan bentuk lintasan yang baik bagi kendaraan yang hendak memasuki bentuk lengkung atau meninggalkannya. Pada lengkung-lengkung lingkaran sederhana, tanpa menggunakan lengkung peralihan, pelebaran perkerasan dapat dilakukan di sepanjang lengkung peralihan fiktif, yaitu bertepatan dengan tempat perubahan kemiringan melintang yaitu sesuai dengan pencapaian pelebaran sebesar $\pm 75\%$ -nya, diadakan pada bagian bagian lengkung. Pada lengkung-lengkung dengan menggunakan lengkung peralihan tambahan, lebar perkerasan dilakukan pada tepi dalam saja, atau dibagi pada kedua sisi lengkung. Panjang pencapaian pelebara dalam hal ini sesuai dengan panjang pencapaian kemiringan, diadakan sepanjang busur peralihan yang bersangkutan.

Apabila standar minimum seperti disebutkan diatas, sulit untuk dicapai tanpa melaksanakan perbaikan-perbaikan yang berarti, maka harus dipertimbangkan cara penyelesaian lain, misalnya :

1. Apabila panjang kritis melebihi standar yang ada dapat diusahakan untuk memperlebar jalan, atau menyediakan tempat perhentian sementara untuk digunakan sewaktu-waktu darurat.
2. Pada suatu lengkung cembung, bilamana jarak pandangan yang dihitung untuk kecepatan rencana terlalu pendek maka harus dipasang tanda lalu lintas, pada kedua sisi lengkung cembung tersebut untuk memberikan peringatan pada pengendara.

Gambar dari pelebaran perkerasan pada tikungan dapat dilihat pada gambar berikut ini



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 15 Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Rumus yang digunakan :

$$B = n(b' + c) + (n+1) Td + Z \dots\dots\dots (2. 12)$$

$$b' = b + b'' \dots\dots\dots (2. 13)$$

$$b'' = Rd^2 - \sqrt{Rd^2 - p^2} \dots\dots\dots (2. 14)$$

$$Td = \sqrt{Rd^2 - A(2p + A) - Rd} \dots\dots\dots (2. 15)$$

$$\varepsilon = B.W \dots\dots\dots (2. 16)$$

Keterangan:

B = Lebar perkerasan pada tikungan

n = Jumlah jalur lalu lintas

b = Lebar lintasan truk pada jalur lurus

b' = Lebar lintasan truk pada tikungan

p = Jarak As roda depan dengan roda belakang truk

A = Tonjolan depan sampai bumper

W = Lebar perkerasan

Td = Lebar melintang akibat tonjolan depan

Z = Lebar tambahan akibat kelelahan pengemudi

c = Kebebasan samping

ϵ = Pelebaran perkerasan

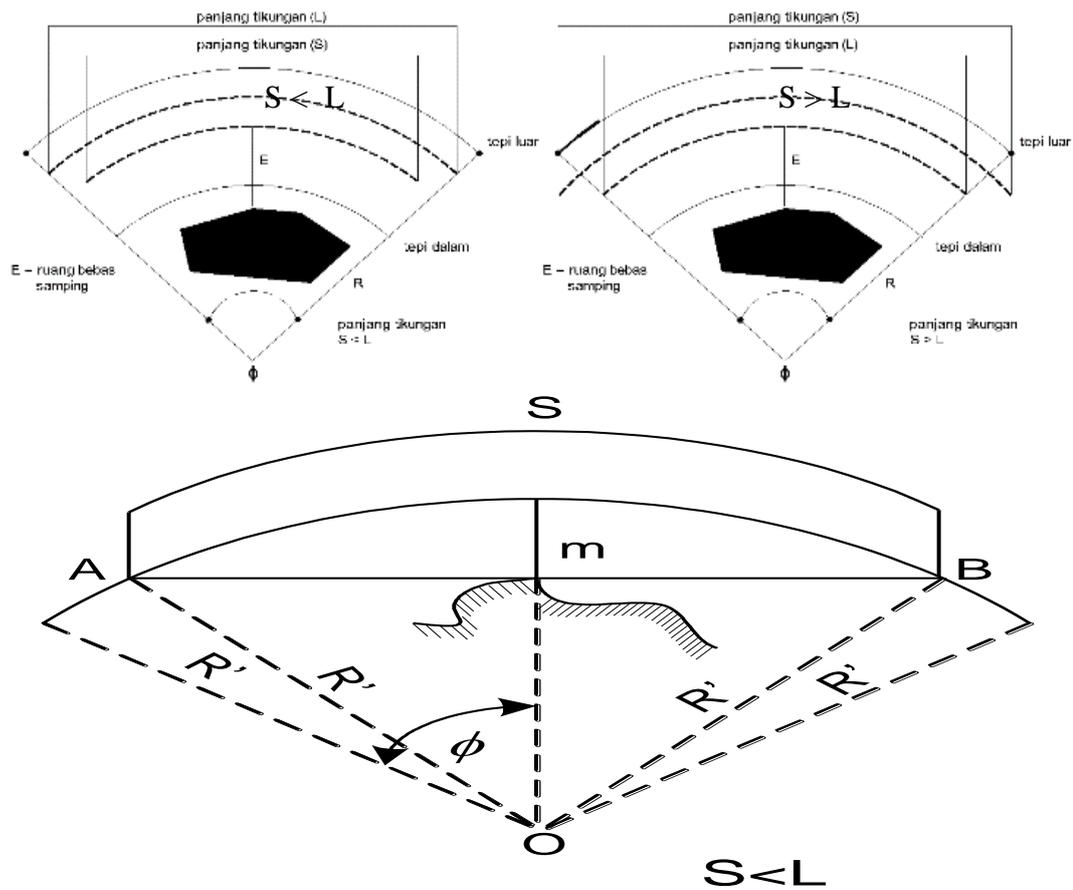
Rd = Jari-jari rencana

2.6.1.8. Jarak Pandangan Pada Lengkung Horizontal

Jarak pandang pada perencanaan jalan merupakan salah satu unsur yang harus dipertimbangkan, karena dengan jarak pandang yang pendek akan mengakibatkan terjadinya kecelakaan lalu lintas. Dalam hal ini terdapat beberapa kemungkinan yang menyebabkan pendeknya jarak pandangan pengemudi, antara lain disebabkan oleh tertutupnya pandangan pengemudi karena adanya talud / tebing tanah galian, adanya gedung perkantoran dan bangunan permukiman penduduk, adanya pohon rindang ditepi jalan, rambu-rambu lalu lintas, pagar / tembok pembatas yang terdapat pada daerah tikungan, dan beberapa jenis penghalang lainnya.

Kesemuanya merupakan faktor yang menyebabkan pendeknya jarak pandangan pengemudi, yang kemudian berpengaruh terhadap jarak pandangan yang diperlukan oleh pengemudi untuk melakukan gerakan menyiap / mendahului kendaraan lain, dan jarak yang diperlukan untuk berhenti menghindari terjadinya kecelakaan. Dalam menentukan batasan jarak pandang yang bebas dari berbagai penghalang yang terdapat pada pinggir jalan ditikungan, agar pengemudi dapat saling melihat dari arah yang berlawanan, maka perhitungan jarak bebas yang diperlukan didasarkan pada tinjauan kendaraan yang bergerak di tepi sebelah dalam, untuk keadaan ini ada 2 (dua) kemungkinan yang terjadi yaitu jarak pandang lebih pendek dari lengkung dan jarak pandang lebih besar dari jarak panjang lengkung.

Penentuan batas minimum jarak antar sumbu jalur sebelah dalam ke penghalang berada didalam lengkung, dimana jarak pandangan S lebih kecil dari panjang tikungan yang bersangkutan L. Atau keadaan dimana jarak S lebih besar dari panjang tikungan L sehingga jarak pandang sebagian merupakan lengkung panjang L, dan sisanya merupakan garis lurus.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 16 Pandangan atau kebebasan samping pada lengkung horizontal untuk

$$s \leq L$$

- Garis AB = garis pandangan
- Lengkung AB = jarak pandangan
- m = jarak kebebasan samping (m)
- θ = setengah sudut pusat lengkung sepanjang L
- S = jarak pandang (m)

L = panjang busur lingkaran (m)

R' = radius sumbu lajur sebelah dalam (m)

Rumus :

$$S = \frac{\pi \phi R'}{90} \dots\dots\dots (2. 17)$$

$$= \frac{90 S}{\pi R'} = \frac{28,65 S}{R'} \dots\dots\dots (2. 18)$$

$$m = R' (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots (2. 19)$$

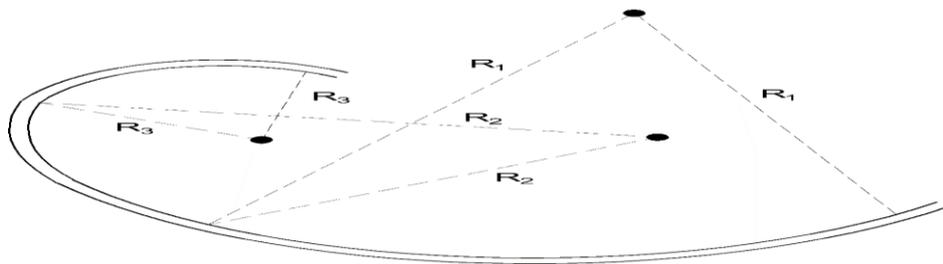
$$m = \frac{1432,9}{D} (1 - \cos.D. \frac{S}{50}) \dots\dots\dots (2. 20)$$

$$m = R'.(1 - \cos.28,65. \frac{S}{R'}) \dots\dots\dots (2. 21)$$

2.6.1.9. Tikungan gabungan

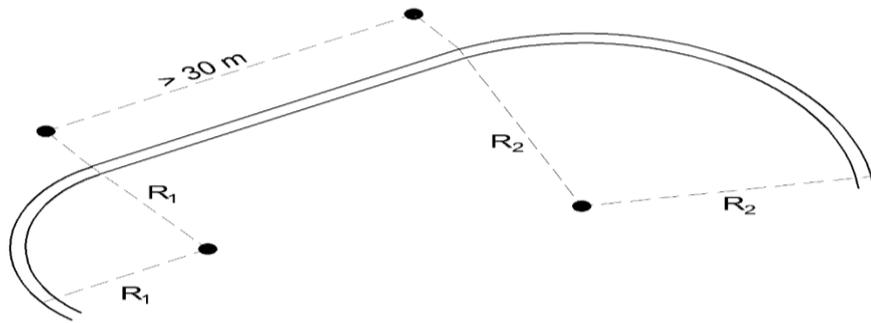
Dalam merencanakan suatu alinyemen horizontal, kemungkinan akan ditemui perencanaan tikungan gabungan yang didasarkan pada kondisi topografi pada *route* jalan yang direncanakan yang dapat dihindari, ada 2 (dua) jenis tikungan gabungan, diantaranya :

1. Tikungan gabungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran yang sama, dengan jari-jari yang berbeda, tikungan gabungan searah sebaiknya dihindari jika $R_1 : R_2 > 2 : 3$ jika $R_1 : R_2 < 2 / 3$, tikungan gabungan harus dilengkapi bagian lurus sepanjang paling tidak 30 meter.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

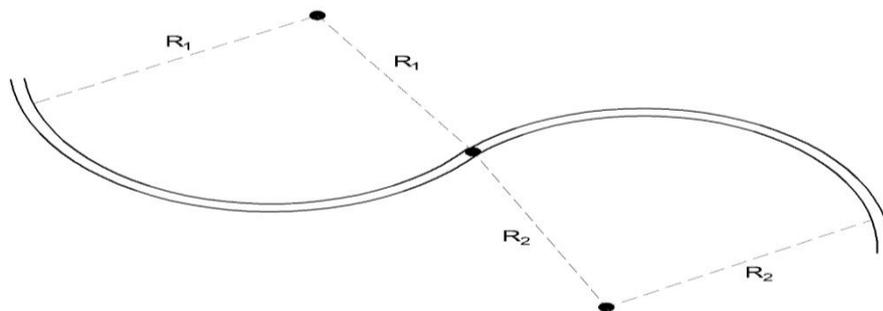
Gambar 2. 17 Tikungan gabungan searah



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 18 Tikungan gabungan searah dengan sisipan.

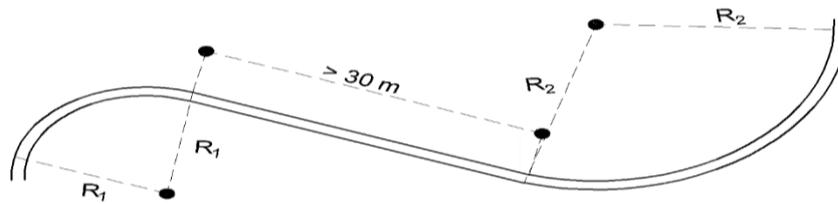
2. Tikungan gabungan balik arah, yaitu gabungan 2 (dua) tikungan dengan arah putaran yang berbeda, biasa juga disebut sebagai lengkung S.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 19 Tikungan gabungan berbalik arah.

Tikungan berbalik secara tiba-tiba, sedapat mungkin harus dihindari, karena dalam kondisi ini pengemudi akan sulit untuk mempertahankan kendaraan pada lajunya, jika terpaksa dapat dilakukan dengan menambah bagian sisipan lurus atau *spiral* diantaranya, sekurang-kurangnya 30 meter.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 20 Tikungan gabungan berbalik arah dengan sisipan

2.6.2. Aliyemen Vertikal

Aliyemen vertikal adalah garis potong atau garis irisan melalui sumbu jalan yang menyatakan bentuk geometrik jalan dalam arah vertikal. Garis aliyemen vertikal tersebut pada bidang gambar menunjukkan ketinggian dari setiap titik seta bagian-bagian yang terpenting dari suatu jalan dalam arah memanjang. Oleh sebab itu gambar aliyemen vertikal disebut juga sebagai gambar “ penampang memanjang” yang terdiri dari rangkaian garis lurus yang satu sama lainnya dihubungkan dengan lengkung vertikal. Pada jalan yang terpisah oleh median garis irisan vertikal tersebut pada umumnya diambil melalui sumbu tepi atau sumbu dalam dari masing-masing perkerasan jalan dengan bidang permukaan jalan yang bersangkutan.

Bentuk geometrik jalan raya dalam arah sepanjang jalan (memanjang) sangat besar pengaruhnya terhadap jalannya kendaraan, terutama terhadap kecepatan, kemampuan percepatan, kemampuan perlambaan, kemampuan untuk berhenti, jarak pandangan yang diperlukan dan pengaruhnya terhadap kenyamanan pengemudi itu sendiri.

Perencanaan aliyemen vertikal sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Kondisi tanah dasar
2. Keadaan medan
3. Fungsi jalan
4. Muka air banjir
5. Muka air tanah

6. Kelandaian yang masih memungkinkan

Selain hal diatas tersebut, dalam perencanaan aliyemen vertikal akan ditemui kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan), sehingga terdapat suatu kombinasi yang berupa lengkung cembung dan lengkung cekung serta akan ditemui pula kelandaian 0 yang berarti datar.

Gambar rencana suatu profil memanjang jalan dibaca dari kiri ke kanan, sehingga landai jalan diberi tanda positif untuk pendakian dari kiri ke kanan dan landai negatif untuk penurunan dari kiri ke kanan.

2.6.2.1. Kelandaian aliyemen vertikal

a. Landai minimum

Untuk tanah timbunan yang tidak menggunakan kerb, maka lereng melintang jalan dianggap sudah cukup untuk dapat mengalirkan air diatas badan jalan yang selanjutnya dibuang ke lereng jalan. Untuk jalan-jalan diatas timbunan dengan medan datar dan menggunakan kerb kelandaian yang dianjurkan adalah sebesar 0,15 %, yang dapat membantu mengalirkan air diatas badan jalan dan membuangnya ke saluran tepi atau saluran pembuang, sedangkan untuk jalan-jalan di daerah galian atau jalan yang memakai kerb , kelandaian jalan minimum dianjurkan adalah 0,30 % - 0,50 %. Lereng melintang jalan hanya cukup untuk mengalirkan air hujan yang jatuh diatas badan jalan, sedangkan landai jalan dibutuhkan untuk membuat kemiringan dasar saluran samping , untuk membuang air permukaan sepanjang jalan.

b. Landai maksimum

Kelandaian maksimum yang dimaksud untuk menjaga agar kendaraan dapat bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk bermuatan penuh dan mampu bergerak, dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Tabel 2. 17 kelandaian maksimum yang diizinkan

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

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

c. Panjang kritis suatu kelandaian

Landai maksimum saja tidak cukup merupakan faktor penentu dalam suatu perencanaan aliyemen vertikal karena jarak yang pendek memberikan faktor pengaruh yang berbeda dibandingkan dengan jarak yang panjang pada kelandaian yang sama. Kelandaian yang besar mengakibatkan penurunan kecepatan pada kendaraan truk cukup berarti, jika kelandaian tersebut dibuat panjang pada jalan yang cukup panjang, tetapi sebaliknya akan kurang berarti jika panjang jalan dengan kelandaian tersebut hanya pendek saja. Panjang kritis adalah panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian rupa, sehingga penurunan kecepatan yang terjadi tidak lebih dari separuh kecepatan rencana (VR). Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari satu menit.

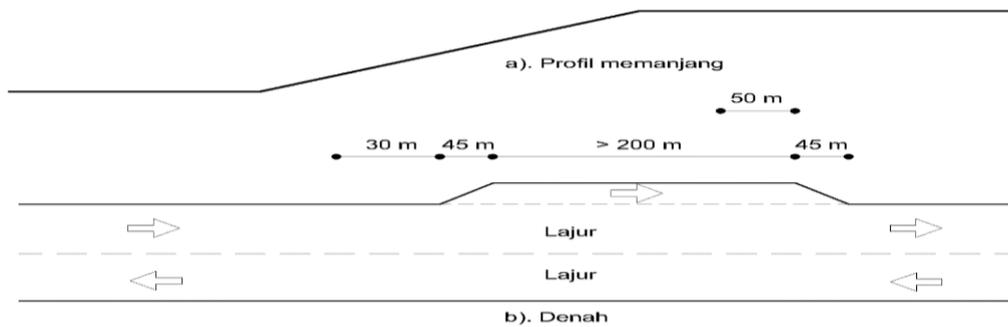
Tabel 2. 18 Panjang Kritis (m)

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

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

d. Lajur pendakian

Pada jalur jalan dengan rencana volume lalu lintas yang tinggi, maka kendaraan berat akan berjakan pada lajur pendakian dengan kecepatan dibawah kecepatan rencana (VR), sedangkan kendaraan lainnya masih dapat bergerak dengan kecepatan rencana. Dalam hal ini sebaiknya pertimbangkan untuk membuat lajur tambahan di sebelah kiri lajur jalan.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 21 Lajur pendakian tipikal.

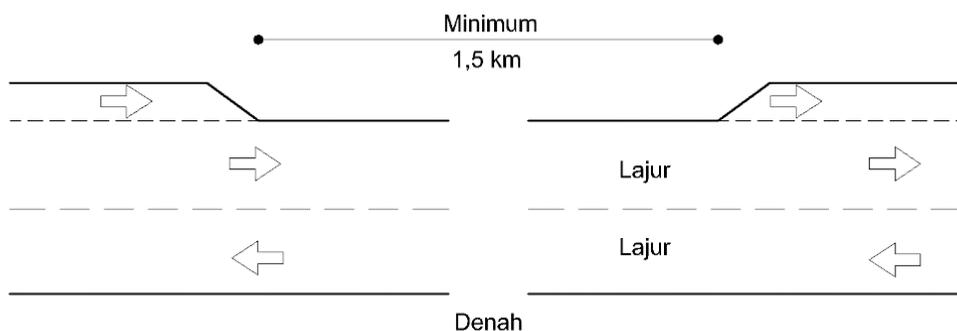
Penempatan lajur pendakian dilakukan sebagai berikut :

1. Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997). Penentuan lokasi lajur pendakian harus dapat dibenarkan secara ekonomis dan dibuat berdasarkan analisis Biaya Siklus Hidup (BSH)

Tabel 2. 19 Lajur pendakian pada kelandaian khusus jalan luar kota (2/2 TB) usia rencana 23 tahun.

Panjang	Ambang arus lalu lintas (kend/jam) tahun -1, jam puncak		
	Kelandaian		
	3%	5%	7%
0,5 Km	500	400	300
≥ 1 Km	325	300	300

Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*



Gambar 2. 22 Jarak antara dua lajur pendakian

2. Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (1997)
 - a. Lajur pendakian dimaksudkan untuk menampung truk-truk bermuatan berat atau kendaraan lai yang berjalan lebih lambat dari kendaraan-kendaraan lain pada umumnya, agar kendaraan lainnya tersebut dapat mendahului kendaraan lambat tersebut tanpa harus berpindah lajur atau menggunakan lajur arah yang berlawanan
 - b. Lajur pendakian harus disediakan pada ruas jalan yang mempunyai kelandaian besar, menerus, dan volume lalu lintas yang relatif padat.
 - c. Penempatan lajur pendakian harus dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :
 1. Disediakan pada jalan arteri atau kolektor
 2. Apabila panjang kritis terlampaui, jalan memiliki VLHR > 15.000 SMP/hari, dan prosentase truk 15 %
 - d. Lebar lajur pendakian sama dengan lebar lajur rencana.
 - e. Lanjur pendakian dimuali 30 meter dari awal perubahan kelandaian dengan serongan sepanjang 45 meter dan berakhir 50 meter sesudah puncak kelandaian dengan serongan sepanjang 45 meter.
 - f. Jarak minimum antara 2 lajur pendakian adalah 1,5 km.

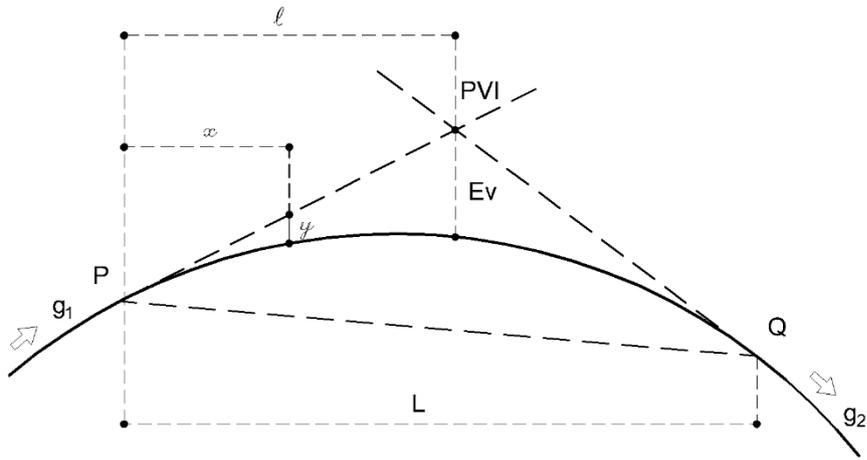
2.6.2.2. Lengkung vertikal

Pergantian dari satu kelandaian ke kelandaian berikutnya dilakukan dengan mempergunakan lengkung vertikal. Lengkung vertikal direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi keamanan, kenyamanan dan fungsi aliran drainase.

Jenis lengkung vertikal dilihat dari titik perpotongan kedua bagian yang lurus (*tangen*) adalah :

1. Lengkung vertikal cekung, adalah suatu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada dibawah permukaan jalan
2. Lengkung vertikal cembung , adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada diatas permukaan jalan yang bersangkutan

Lengkung vertikal type a, b, c, dinamakan lengkung vertikal cekung, sedangkan lengkung vertikal d, e, f dinamakan lengkung vertikal cembung.



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 23 Tipikal lengkung vertikal bentuk parabola

Rumus yang dipergunakan

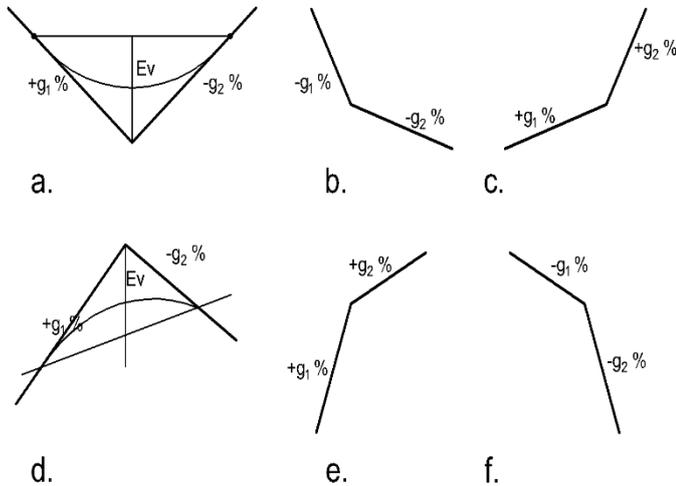
$$x = \frac{L \cdot g_1}{g_1 - g_2} = \frac{L \cdot g_1}{A} \dots\dots\dots(2. 22)$$

$$y = \frac{L \cdot g_1^2}{2 \cdot (g_1 - g_2)} = \frac{L \cdot g_1^2}{2 \cdot A} \dots\dots\dots(2. 23)$$

Dimana :

x = Jarak dari titik P ke titik yang ditinjau pada stasiun (sta)

y = Perbedaan elevasi antara titik P dan titik yang ditinjau pada stasiun (m)



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 24 Jenis lengkung vertikal dilihat dari PVI

L = panjang lengkung vertikal parabola, yang merupakan jarak proyeksi dari titik A dan titik Q (Sta)

g_1 = kelandaian tangen dari titik P (%)

g_2 = kelandaian tangen dari titik Q (%)

Rumus diatas, digunakan untuk lengkung simetris ($g_1 \pm g_2$) = A = perbedaan aljabar untuk kelandaian (%). Kelandaian mendaki (pendakian) diberi tanda (+), sedangkan untuk kelandaian menurun (Penurunan) diberi tanda (-). Ketentuan pendakian (naik) atau penurunan (turun) ditinjau dari sebelah kiri ke kanan.

$$E_v = \frac{A \cdot L}{800} \dots\dots\dots (2. 24)$$

Untuk : $x = \frac{1}{2} \cdot L$; $y = E_v$

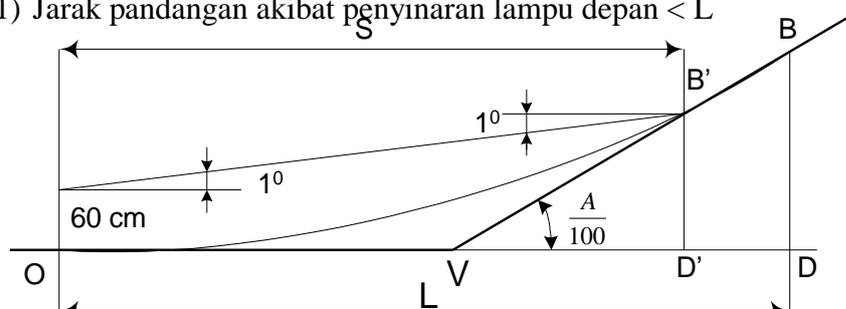
1. Lengkung vertikal cekung

Dalam menentukan panjang lengkung vertikal cekung, harus memperhatikan, antara lain :

a. Jarak penyinaran lampu kendaraan

Jangkauan lampu depan kendaraan pada lengkung vertikal cekung merupakan batas jarak pandangan yang dapat dilihat oleh pengemudi pada malam hari, di dalam perencanaan umumnya tinggi lampu diambil setinggi 60 cm, dengan sudut penyebaran sebesar 1° . Letak penyinaran lampu kendaraan dapat dibedakan menjadi 2 keadaan :

1) Jarak pandangan akibat penyinaran lampu depan $< L$



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya*, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamifhan Saodang, MSCE. 2010

Gambar 2. 25 lengkung vertikal cekung dengan jarak pandang penyinaran lampu depan $< L$

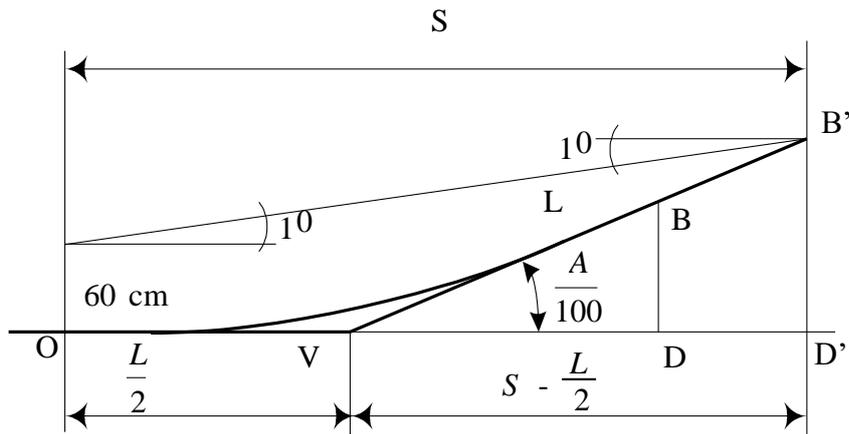
$$DB = \frac{A.L}{100.2}$$

$$D'B' = \left(\frac{S}{L}\right)^2 (DB) = \frac{S^2 A}{200L} = 0,60 + S \operatorname{tg} 1^\circ$$

$$\operatorname{Tg} 1^\circ = 0,0175$$

$$\frac{S^2 A}{200L} = 0,60 + S \operatorname{tg} 1^\circ ; L = \frac{AS^2}{120 + 3,50S} \dots\dots\dots(2. 25)$$

2) Jarak pandangan akibat penyinaran lampu depan > L



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 26 Lengkung vertikal cekung dengan jarak pandangan penyinaran lampu depan > L.

$$D'B' = \frac{A}{100} (S - \frac{1}{2}L) = 0,60 + S \operatorname{tg} 1^\circ = 0,60 + 0,0175 S$$

$$\frac{A}{100} (S - \frac{1}{2}L) = 0,60 + 0,0175 S$$

$$L = 2S - \frac{120 + 3,5 S}{A} \dots\dots\dots(2. 26)$$

- b. Jarak pandangan bebas dibawah bangunan pada lengkung vertikal cekung.
 Jarak pandangan bebas pengemudi pada jalan raya yang melintasi bangunan- bangunan, jalan raya, jembatan penyebrangan seringkali

terhalang oleh bagian bawah dari bangunan tersebut. Panjang lengkung vertikal cekung minimum diperhitungkan berdasarkan jarak pandangan henti minimum dengan mengambil mata pengemudi kendaraan truk, yaitu setinggi 1,8 meter dan tinggi objek setinggi 0,5 meter (tinggi lampu belakang kendaraan). Ruang bebas minimum 5 meter. Dalam perencanaan disarankan untuk mengambil ruang bebas ± 5,50 meter. Untuk memberi kemungkinan adanya lapis tambahan (*overlay*) di kemudian hari.

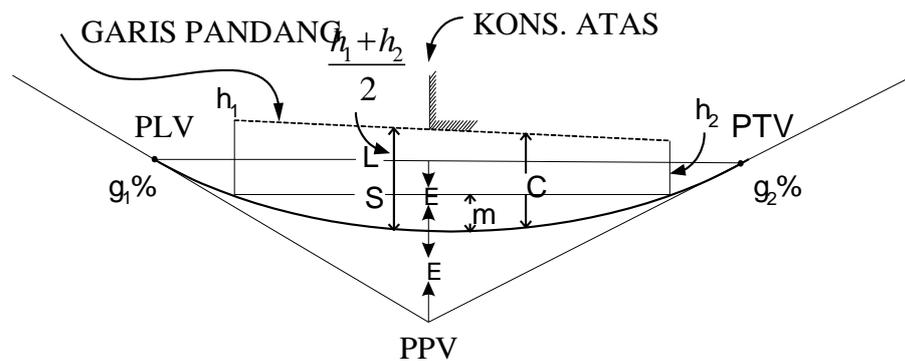
- Jarak pandangan : $S < L$

Diasumsikan titik PPV berbeda di bawah bangunan

Rumus:

$$\left(\frac{S}{L}\right)^2 = \frac{m}{E} \quad ; \quad E = \frac{AL}{800}$$

$$\left(\frac{S}{L}\right)^2 = \frac{800 m}{AL}$$



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 27 Jarak pandangan bebas di bawah bangunan pada lengkung vertikal cekung dengan $S < L$

$$L = \frac{S^2 A}{800 m} \quad ; \quad m = \frac{S^2 A}{800 m} \dots\dots\dots(2. 27)$$

Jika jarak bebas dari bagian bawah bangunan atas kejalan adalah C, maka:

$$M = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

$$\frac{S^2 A}{800L} = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

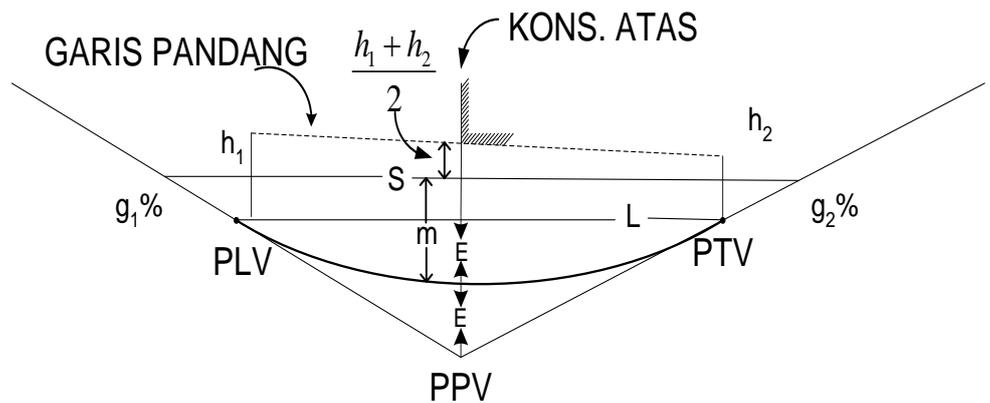
$$L = \frac{S^2 A}{800C - 400(h_1 + h_2)} \dots\dots\dots(2.28)$$

Jika ; $h_1 = 1,80 \text{ m}$, $h_2 = 0,50 \text{ m}$, $C = 5,50 \text{ m}$, maka

$$L = \frac{AS^2}{3480}$$

- Jarak pandangan $S > L$

Diasumsikan titik PPV berada di bawah bangunan



Sumber : *Konstruksi Jalan Raya, buku I geometrik jalan, oleh Ir. Hamirhan Saodang, MSCE. 2010*

Gambar 2. 28 Jarak pandangan bebas di bawah bangunan pada lengkung vertikal cekung dengan $S > L$

Rumus :

$$\frac{S}{L} = \frac{E + m}{2E}$$

$$\frac{s}{L} = \frac{1}{2} + \frac{m}{2E}$$

$$E = \frac{AL}{800}$$

$$m = C - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

$$L = 2S - \frac{800C - 400(h_1 + h_2)}{S^2 A} \dots\dots\dots(2. 29)$$

Jika ; $h_1 = 1,80$ m, $h_2 = 0,50$ m, $C = 5,50$ m, maka

$$L = 2S - \frac{3480}{A}$$

c. Persyaratan drainase

Landai minimum untuk keperluan drainase adalah 0,5 %. Pada lengkung vertikal cembung dimana bagian yang hampir datar, pada puncak lengkung, diperlukan pengkajian khusus untuk hal ini. Untuk jalan yang tidak menggunakan kerb m bagian datar tersebut tidak terlalu memberikan masalah, karena fungsi lereng jalan sudah menjamin kelancaran drainase. Untuk jalan jalan yang menggunakan kerbm dengan diberikan kelandaian 0,5 % pada jarak 20 meter dari puncak lereng, sudah cukup memadai.

Jadi syarat panjang maksimum adalah :

$$L_v = 40 \cdot A \dots\dots\dots(2. 30)$$

d. Kenyamanan mengemudi pada lengkung vertikal cekung

Adanya gaya sentrifugal dan gravitasi pada lengkung vertikal cekung menimbulkan rasa tidak nyaman kepada pengemudi, yang akan menyebabkan percepatan sentipetal, percepatan sentripetal yang bersangkutan adalah :

$$a = \frac{A \cdot v^2}{1300 \cdot L}$$

dimana :

a = Percepatan sentripetal (m/det)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

A = Perbedaan aljabar landai

L = Panjang lengkung vertikal cekung

Panjang lengkung vertikal cekung minimum adalah ditentukan oleh percepatan sentripetal, yang dibatasi tidak melebihi $0,3 \text{ m/det}^2$, dengan demikian rumus diatas menjadi :

$$L = \frac{A \cdot V^2}{390} \dots\dots\dots(2. 31)$$

e. Keluwesan bentuk

Keluwesan bentuk jalan dihubungkan terhadap kecepatan, yaitu menurut AASHTO : $L = 3 V$

dimana :

L = panjang minimum lengkung dalam feet,

V = kecepatan rencana dalam mph

Sehingga bila L dalam meter dan V dalam km/jam, didapat :

$$L = 0,6 \cdot V \dots\dots\dots(2. 32)$$

Nilainya adalah pendek jika perbedaan kelandaainnya kecil. Hal ini akan mengakibatkan alinyemen vertikal kelihatan melengkung. Untuk menghindari hal tersebut, maka panjang lengkung vertikal cekung diambil ≥ 3 detik perjalanan.

Dalam perencanaan aliyemen vertikal perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- Pada aliyemen vertikal yang relatif datar dan lurus, sebaiknya dihindari adanya *hidden clip* , yaitu lengkung-lengkung vertikal lengkung yang pendek dan tidak terlihat mata dari jarak jauh.
- Pada landai menurun yang panjang dan tajam, sebaiknya diikuti oleh pedakian, sehingga kecepatan kendaraan yang bertambah besar dapat segera dikurangi.

- Jika direncanakan sserangkaian kelandaian, maka sebaiknya kelandaian yang paling curam diletakan dibagian awal yang diikuti oleh kelandaian yang lebih kecil
- Sedapat mungkin dihindari perncanan lengkung vertikal yang sejenis (cekung atau cembung) dengan hanya dipisahkan oleh tangen yang pendek.

2. Lengkung vertikal cembung

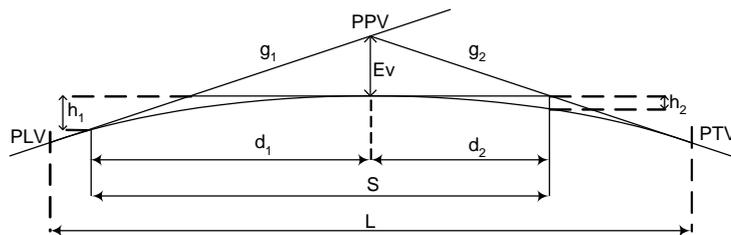
Lengkung Vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang megalami perubahan kelandaian dengan tujuan,

- Mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian
- Menyediakan jarak pandang henti

a. Lengkung vertikal cembung

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

- Jarak pandang berbeda seluruhnya dalam daerah lengkung ($s < l$).



Gambar 2. 29 Jarak pandangan pada lengkung vertikal cembung ($s < l$)

- Berdasarkan jarak pandangan berada seluruhnya dalam daerah lengkung ($S < L$)

- Jarak Pandangan henti menurut Metode Bina marga

$$L = \frac{A.S^2}{399} \dots\dots\dots (2. 33)$$

- Jarak Pandangan menyiap menurut Metode Bina marga

$$L = \frac{A.S^2}{960} \dots\dots\dots (2. 34)$$

➤ Berdasarkan jarak pandangan berada diluar dan didalam daerah lengkung ($S > L$)

- Jarak Pandangan Henti Menurut Bina Marga

$$L = 2.S - \frac{399}{A} \dots\dots\dots (2. 35)$$

- jarak Pandangan menyiap Menurut Bina Marga

$$L = 2.S - \frac{960}{A} \dots\dots\dots (2. 36)$$

➤ Berdasarkan Kebutuhan akan Drainase

$$L = 50 . A \dots\dots\dots (2. 37)$$

➤ Berdasarkan Kenyamanan 3 Detik Perjalanan

$$\frac{Vr}{3,6} x t = \frac{60}{3,6} x 3 \dots\dots\dots (2. 38)$$

Tabel 2. 20 Nilai C_1 untuk beberapa h_1 dan h_2 berdasarkan Bina Marga.

	Bina Marga '90	
	JPH	JPM
Tinggi mata pengemudi (h_1) (m)	1,2	1,2
Tinggi objek (h_2) (m)	0,1	1,2
Konstata C	399	960

Sumber : *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya*, oleh Silvia Sukirman, 1994.

JPH = Jarak Pandangan Henti

JPM = Jarak Pandangan Menyiap

2.7. Perencanaan galian dan timbunan

Di dalam perencanaan geometrik jalan diusahakan agar volume galian (*cut*) sama dengan volume timbunan (*fill*) dengan mengkombinasikan aliyemen horizontal dan aliyemen vertikal. Untuk mendapatkan galian dan timbunan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya :

a. Penentuan *stasioning*

Panjang horizontal dapat dilakukan dengan membuat titik-titik *stasioning* (patok-patok km) di ruas rencana jalan.

Ketentuan umum untuk pemasangan patok-patok tersebut adalah sebagai berikut:

1. Untuk daerah datar dan lurus jarak antara patok adalah 100 m
2. Untuk daerah bukit jarak antara patok 50 m
3. Untuk daerah gunung jarak antara patok 25 m

b. Profil memanjang

Profil memanjang ini memperlihatkan kondisi elevasi dari muka tanah asli dan permukaan tanah yang direncanakan. Profil memanjang direncanakan dengan menggunakan skala 1 : 1000 dan skala vertikal 1 : 100

c. Profil melintang

Profil melintang (*cross section*) digunakan untuk setiap titik *stasioning* (patok) yang telah ditetapkan. Profil ini menggambarkan bentuk permukaan tanah asli dan rencana jalan dalam arah tegak lurus as jalan secara horizontal. Kondisi permukaan tersebut diperlihatkan sampai batas minimal separuh daerah penguasaan jalan kearah kiri an kanan jalan tersebut.

Menurut Tata Perencanaan Geomterik Antar Kota No 038/TBM/1997 menetapkan bagian-bagian profil melintang diantaranya adalah jalur lalu lintas, median,dan jalur tepian (kalau ada). Bahu jalur pejalan kaki, selokan, dan lereng. Penggambaran profil melintang ini adalah luas dari bidang-bidang galian dan timbunan yang dikerjakan pada titik tersebut.

d. Menghitung volume galian dan timbunan

Untuk menghitung volume galian dan timbunan diperlukan data luas penampang baik galian maupun timbunan dari masing-masing potongan

dihitung luas penampang galian dan timbunan penghitungan tersebut dapat dilakukan dengan cara *planimetri* atau dengan cara membagi-bagi setiap penampang bangunan-bangunan sederhana, misalnya segitiga, segi empat dan trapesium. Perhitungan galian dan timbunan dilakukan secara pendekatan, semakin kecil jarak antara *stasioning*, maka volume galian dan timbunan mendekati volume sesungguhnya, sebaliknya semakin besar jarak antara *stasioning* maka semakin jauh ketidak tepatan hasil yang diperoleh. Ketelitian dan ketepatan dalam menghitung besarnya volume galian dan timbunan akan sangat berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan dalam pelaksanaannya. Pekerjaan tanah yang terlalu besar akan berdampak terhadap semakin mahanya biaya pembuatan jalan yang direncanakan.

Selanjutnya perhitungan dibuat dalam tabel seperti contoh berikut:

Tabel 2. 21 Contoh untuk perhitungan volume galian timbunan

P o t a	s t a	Luas penampang melintang (m ²)				Jarak (m)	Volume (m ²)	
		G	T	Rata-rata			G	T
				G	T			
	1	AG1	AT1					
				$\frac{AG1+AG2}{2}$	$\frac{AT1+AT2}{2}$	J	$J\left(\frac{AG1+AG2}{2}\right)$	$J\left(\frac{AT1+AT2}{2}\right)$
	2	AG2	AT2					
				$\frac{AG2+AG3}{2}$	$\frac{AT2+AT3}{2}$	J	$J\left(\frac{AG2+AG3}{2}\right)$	$J\left(\frac{AT2+AT3}{2}\right)$
				2	2			

Jumlah	$J\left(\frac{AG1+AG2}{2}\right) + J\left(\frac{AG2+AG3}{2}\right)$	$J\left(\frac{AT1+AT2}{2}\right) + J\left(\frac{AT2+AT3}{2}\right)$
--------	---	---

2.8. Perencanaan Drainase

Drainase yang berasal dari bahasa Inggris “*drainage*” yang mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang. Drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan / lahan sehingga fungsi kawasan / lahan tidak terganggu, drainase tidak menyangkut air permukaan saja tapi juga air tanah.

Perencanaan drainase merupakan satu kesatuan yang sulit dipisahkan dalam perencanaan jalan raya, karena dengan adanya sistem drainase yang baik diharapkan dapat membuang limpasan air hujan dari permukaan jalan yang dapat mempengaruhi keawetan jalan dan keamanan bagi para pengguna jalan.

Dasar perencanaan drainase pada jalan lingkaran utara ruas jalan Mohammad Hatta – jalan Letnan Harun yaitu dengan mengumpulkan data-data curah hujan maksimum pada stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi proyek.

Data yang ideal adalah data yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Tetapi dalam praktek sangat sering dijumpai data yang tidak lengkap, hal ini dapat disebabkan beberapa hal, antara lain :

- a. kerusakan alat
- b. kelalaian petugas
- c. penggantian alat
- d. bencana (pengrusakan) dan sebagainya

2.8.1. 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.

$$R = 1/n (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2. 39)$$

Keterangan :

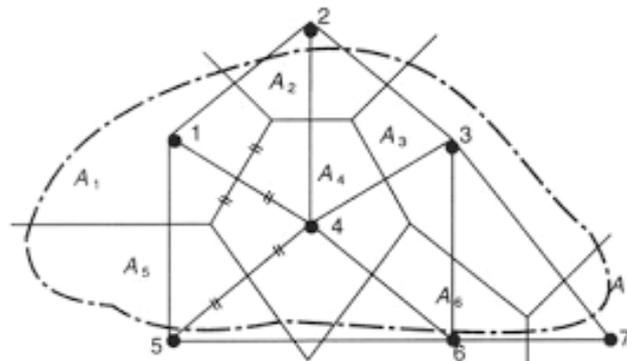
R = Curah hujan daerah

n = jumlah titik atau pos pengamatan

R₁, R₂, ..., 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. 30 Polygon Thiessen

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2. 40)$$

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.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.41)$$

atau

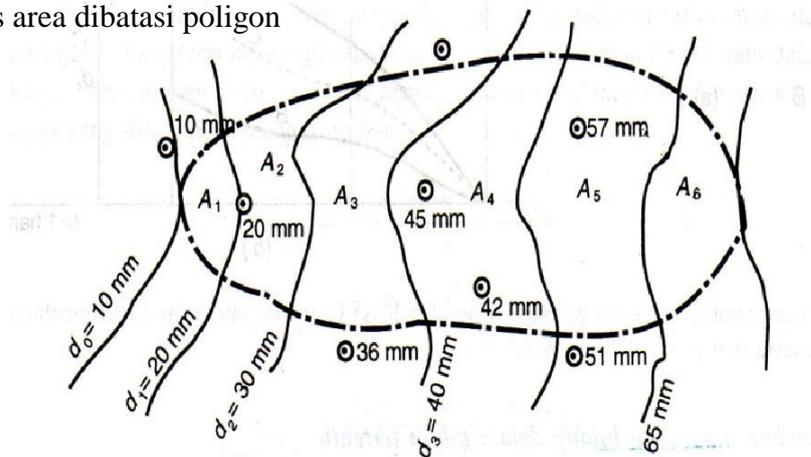
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan :

\bar{R} = hujan rata rata suatu DAS

I = garis isohyet ke i

A = Luas area dibatasi poligon



Gambar 2. 31 Metode Isohyet

2.8.2. 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.

Analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa macam distribusi, parameter pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tabel 2. 22 Parameter pemilihan jenis distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$Cs = 3 Cv + Cv^2 = 0,159$
	$Cv = 0,06$
Log Pearson Tipe III	$Cs \neq 0$
	$Cv = 0,3$
Gumble	$Cs \leq 1,1396$
	$Ck \leq 5,4002$
Normal	$Cs = 0$
	$Ck = 3$

Sumber : Suripin 2004

a. Distribusi Gumble

$$X_T = \bar{X} + \left[\frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \right] x STDEV \dots\dots\dots (2. 43)$$

$$X_T = \bar{X} + K x STDEV \dots\dots\dots (2. 44)$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[\ln \frac{T_r}{T_r - 1} \right] \dots\dots\dots (2. 45)$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

Y_{tr} = factor ln dari T_r

Y_n = reduce mean factor. Nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.17

S_n = reduce standard deviation. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.18

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

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

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K = Faktor probabilitas, nilai $K = Y_{tr} - Y_n / S_n$

b. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T \times STDEV \dots\dots\dots (2.46)$$

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 2.23

Tabel 2. 23 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang	Peluang	K_T
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,952	-1,640
5	1,110	0,901	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,752	-0,670
8	1,430	0,699	-0,520
9	1,670	0,599	-0,250
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840

No	Periode Ulang	Peluang	K _T
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. 24 Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	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	0,5530	0,5535	0,5535	0,5538	0,5540	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	0,5570	0,5572	0,5574	0,5580	0,5578	0,5580	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. 25 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	1,1480	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	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060

Sumber : Suripin, 2004

c. Distribusi Log Person Tipe III

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K .STDEV \dots\dots\dots (2. 47)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X})+K .STDEV)} \dots\dots\dots (2. 48)$$

Keterangan :

X_T = CH/intensitas hujan pada T_r

K = Variabel standar bergantung C_s dan G

$STDEV$ = Standard deviation

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

d. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K_T .STDEV \dots\dots\dots (2. 49)$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X})+K .STDEV)} \dots\dots\dots (2. 50)$$

Keterangan :

K_T = Variabel reduksi gauss, terdapat pada Tabel 2.23.

2.8.3. Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

a. 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 :

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2. 51)$$

$$K = 1 + 3,322 \times Log(n) \dots\dots\dots (2. 52)$$

$$Dk = K - (p + 1) \dots\dots\dots (2. 53)$$

Keterangan :

Chi^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

- Of = 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 2.27.

b. Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametric, 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.

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \dots\dots\dots (2. 54)$$

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 2.26

Tabel 2. 26 Harga kritis smirnov-kolmogorov

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

Tabel 2. 27 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

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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	6,6250000	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	31,1400000	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

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. 28 Distribusi log person tipe III untuk koefisien skewness (Cs)

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

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 (%)														
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

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 (%)														
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	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
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

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 (%)														
0,1	-	-	-	-	-	-	0,2673	0,836	1,292	1,7028	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	-	-	-	-	-	0,000	0,2807	0,842	1,282	1,6728	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	-	-	-	-	-	0,017	0,2900	0,836	1,270	1,6417	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	-	-	-	-	-	0,033	0,3053	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	-	-	-	-	-	0,050	0,3177	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	-	-	-	-	-	0,066	0,3290	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540

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	-	-	-	-	-	-0,2140	0,083	0,3407	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	-	-	-	-	-	-0,2007	0,099	0,3517	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	-	-	-	-	-	-0,1860	0,116	0,3630	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	-	-	-	-	-	-0,1720	0,132	0,3733	0,856	1,166	1,4010	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	-	-	-	-	-	-0,1577	0,148	0,3833	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	-	-	-	-	-	-0,1433	0,164	0,3933	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800

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 (%)															
-1,2	-	-	-	-	-	-0,1140	0,195	0,4113	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	-	-	-	-	-	-0,0850	0,225	0,4273	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	-	-	-	-	-	-0,0557	0,254	0,4417	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	-	-	-	-	-	-0,0263	0,282	0,4543	0,799	0,945	1,0200	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	-	-	-	-	-	0,0047	0,307	0,4637	0,777	0,895	0,9483	0,969	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	-	-	-	-	-	0,0287	0,330	0,4707	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910

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 (%)														
-2,5	-	-	-	-	0,0673	0,360	0,4770	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799	0,802	0,802
-3,0	-	-	-	-	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

2.8.4. 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 :

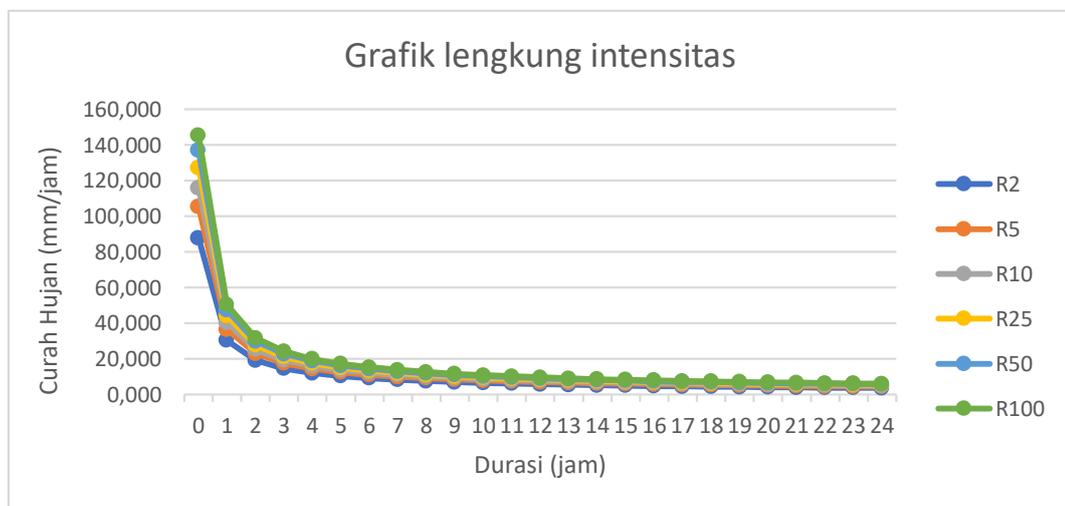
$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2. 55)$$

Keterangan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R24 = curah hujan maksimum harian (mm)



Gambar 2. 32 Grafik hubungan antara intensitas dengan durasi hujan

2.8.5. Menentukan Debit Aliran

$$Q_r = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2. 56)$$

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 m/3600 det) x 10000 m².

2.8.6. Menentukan Koefisien Pengaliran (C)

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

$$C = \frac{C1.A1 + C2.A2 + C3.A3 + \dots + Cn.An \cdot fk}{A1 + A2 + A3 + \dots + An} \dots\dots\dots (2. 57)$$

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

Tabel 2. 29 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 :		

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	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

2.8.7. Menentukan Waktu Konsentrasi (Tc)

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.

$$tc = t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2. 58)$$

$$t_0 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot I_o \cdot \frac{nd}{\sqrt{i_s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots (2. 59)$$

$$t_d = \frac{L}{60 \cdot V} \dots\dots\dots (2. 60)$$

Keterangan :

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

- t_0 = Waktu inlet (menit)
 t_d = Waktu aliran (menit)
 I_0 = Jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase (m)
 i_s = Kemiringan daerah pengaliran
 L = Panjang saluran
 V = Kecepatan air rata-rata (m/dt)
 N_d = Koefisien hambatan

Tabel 2. 30 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. 31 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
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

Sumber : Hasmar, Halim., 2011

Tabel 2. 32 Koefisien hambatan (N_d) berdasarkan kondisi permukaan

No	Kondisi lapisan permukaan	N_d
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,02
3	Permukaan licin dan kokoh	0,1

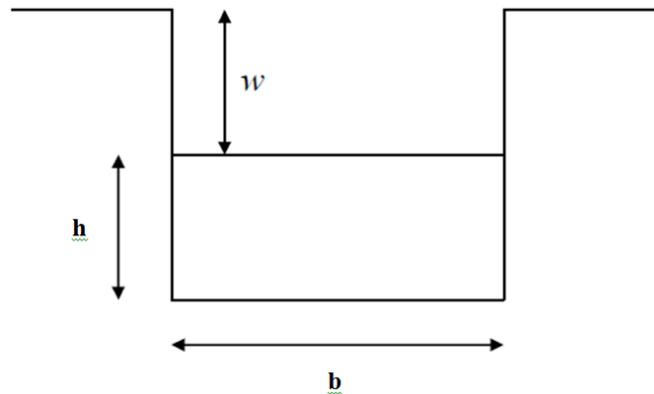
No	Kondisi lapisan permukaan	Nd
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
5	Padang rumput dan rerumputan	0,4
6	Hutan gundul	0,6
7	Hutan rimbum dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.8.8. Menentukan Dimensi Saluran

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

1. Saluran Persegi.



Gambar 2. 33 Bentuk saluran persegi

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

- a. Menentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran, dan kemiringan saluran yang diijinkan.
- b. Menentukan kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diijinkan.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2. 61)$$

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

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \times h}{b + 2h} \dots\dots\dots (2. 62)$$

$$h = \frac{W^2}{0,5} \dots\dots\dots (2. 63)$$

$$Q_s = A \times V \dots\dots\dots (2. 64)$$

Keterangan :

W = tinggi jagaan (m)

h = kedalaman air yang tergenang dalam saluran (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang basah (m²)

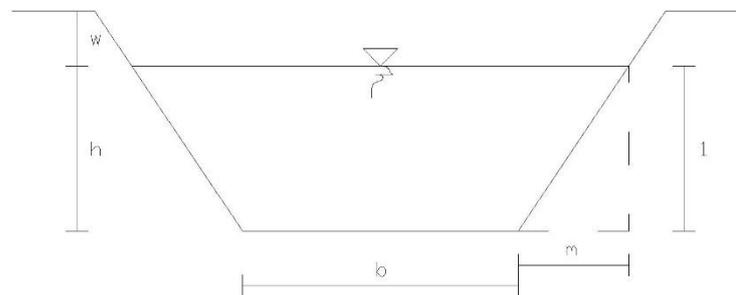
P = keliling basah (m)

Q_r = debit banjir rencana

Q_s = debit saluran

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

2. Saluran Trapesium.



Gambar 2. 34 Bentuk saluran trapesium

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

a. Menentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran, dan kemiringan saluran yang diijinkan.

b. Menentukan kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diijinkan.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2. 65)$$

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

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{m^2+1}} \dots\dots\dots (2. 66)$$

$$h = h^2 \sqrt{3} \dots\dots\dots (2. 67)$$

$$w = \sqrt{0,5} \cdot h \dots\dots\dots (2. 68)$$

$$Q_s = A \cdot V \dots\dots\dots (2. 69)$$

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

d. Qs < Qr, maka dimensi saluran dapat diterima, jika tidak maka perhitungan dimensi saluran harus diulang.

Tabel 2. 33 Angka kekasaran *Manning* (n)

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding bantuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
4	Saluran pada dinding bantuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang dibedakan ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no.8, tetapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti no.10, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	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

2.8.9. Terjunan

Bangunan terjun atau got miring diperlukan jika kemiringan permukaan lebih curam dari pada kemiringan maksimum saluran yang diijinkan.

Ada 4 bagian dari bangunan terjun yaitu :

1. Bagian Pengontrol, bagian ini terletak sebelah hulu (sebelum terjunan) berfungsi untuk mencegah permukaan air yang berlebihan.
2. Bagian Pembawa, bagian ini berupa terjunan dengan bentuk terjunan tegak atau terjunan miring. Jika beda tinggi terjunan $\geq 1,50$ m, maka bagian pembawa berupa terjunan miring. Jika beda tinggi terjunan $\leq 1,50$ m, maka di pakai bangunan terjunan tegak.
3. Peredam Energi, berfungsi untuk mengurangi potensi kerusakan akibat energi yang terkandung dalam aliran sehingga tidak merusak konstruksi bangunan terjun.
4. Perlindungan Dasar, berfungsi untuk melindungi dasar dan dinding saluran dari gerusan air sesudah mengalami terjunan.

Penelitian tentang aliran superkritis yang terbentuk pada saluran terjunan tegak telah banyak dilakukan, antara lain oleh Moore (1943) Rand (1955) dan Dominguez (1958, 1974) (Montes, 1998). Berdasarkan penelitian Dominguez, pada kondisi saluran segi empat mendatar, diperoleh hubungan :

(Montes, 1998): $d/yc = 3 [a/yc]^{0.3}$

Menurut Rand (1943): $d/yc = 4,3 [a/yc]^{0.19}$

Menurut Dominguez (1944) $L/yc = 18 - 20 [y1/yc]$

Diasumsikan bahwa panjang loncatan harus memberikan panjang minimum kolam olakan:

$$LB/yc = 3 [a/yc]^{0.3} + (18 - 20 [y1/yc]) \dots\dots\dots (2. 70)$$

Tinggi energi yang terjadi dapat dirumuskan

$$E0 = a + 1,5 yc \dots\dots\dots (2. 71)$$

Berdasarkan penelitian Moore, Bakhmeteff, Feodoroff, dan Rand telah mendapatkan bukti bahwa geometri aliran pada pelimpah terjunan lurus dapat dijelaskan dengan fungsi bilangan terjunan yang didefinisikan sebagai (Chow, 1989):

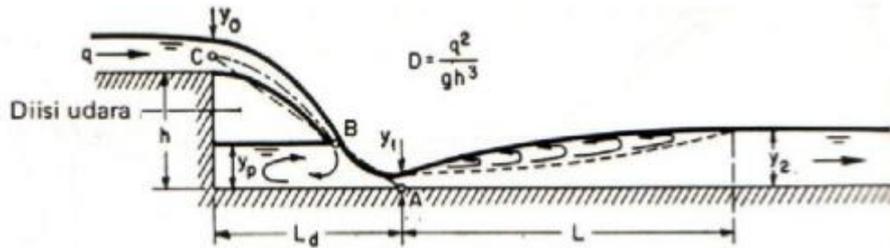
$$D = q^2/gh^3 \dots\dots\dots (2. 72)$$

Keterangan :

q : debit tiap satuan lebar, m^2/dt

g : percepatan gravitasi bumi, m^2/dt (9,8)

h : tinggi terjunan.



Gambar 2. 35 Geometri aliran pada terjunan tegak (Chow, 1989)

$$L_d/h = 4.3 D^{0.27} \cdot h \dots\dots\dots (2. 73)$$

$$y_p/h = D^{0.22} \cdot h \dots\dots\dots (2. 74)$$

$$y_1/h = 0.54 D^{0.425} \cdot h \dots\dots\dots (2. 75)$$

$$y_2/h = 1.66 D^{0.27} \cdot h \dots\dots\dots (2. 76)$$

Keterangan :

L_d = panjang terjunan,

y_p = kedalaman genangan di bawah air limbah,

y_1 = kedalaman di kaki tirai luapan atau kedalaman pada tempat mulainya loncatan,

y_2 = tinggi muka air hilir.

2.9. Perencanaan Tebal Perkerasan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun diatas lapisan tanah dasar, (*sub grade*) lapis pondasi bawah (*sub base course*) lapis pondasi atas (*base course*) dan lapis permukaan (*surface course*). Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri.

Perencanaan jalan lingkaran utara ruas jalan Moh. Hatta – jalan Letnan Harun ini menggunakan jenis perkerasan lentur dengan metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) nomor : 04/SE/Db/2017 . Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan – lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2.9.1. Umur Rencana

Tabel 2. 34 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 (<i>overlay</i>), seperti : jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
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 Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Catatan :

1. Jika terlalu sulit untuk menggunakan umur rencana diatas, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisis dengan *discounted lifecycle cost* yang dapat menunjukkan umur rencana dapat memberikan *discounted lifecycle cost* terendah.
2. Umur rencana harus memperhitungkan kapasitas jalan.

2.9.2. Lalu Lintas

2.9.2.1. 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 dari butir 4.10 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.

2.9.2.2. 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 data maka Tabel 2.35 dapat digunakan (2015 - 2035).

Tabel 2. 35 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu lintas (i)(%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata – rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,8	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,5	3,5	3,5	3,5
Jalan Desa	1	1	1	1

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

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

$$R = \frac{(1+0,01) ur - 1}{0,01 i} \dots\dots\dots (2. 77)$$

- Dengan R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
- i = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
- UR = Umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan i1% selama periode awal (UR1 tahun) dan i2% selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut:

$$R = \frac{(1 + 0,01 i1)ur1 - 1}{0,01 i1} + (1 + 0,01 i1)(UR1 - 1)(1 + 0,01 i2) \left\{ \frac{(1 + 0,01 i2)(UR - UR1) - 1}{0,01 i2} \right\} \dots\dots\dots (2. 78)$$

- Dengan R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
- i1 = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan periode 1 (%)
- i2 = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan periode 2 (%)
- UR = Total umur rencana (tahun)
- UR1 = Umur rencana periode 1 (Tahun)

Formula di atas 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:

$$R = \frac{(1+0,01 i)Q - 1}{0,01 i} + (UR - Q) (1 + 0,01 i) (Q-1) \dots\dots\dots (2. 79)$$

2.9.2.3. 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 – lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah

Tabel 2. 36 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 Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.2.4. 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. Studi atau survei beban gandar yang dirancang dan dilaksanakan dengan baik merupakan dasar perhitungan ESA yang andal.

Tabel 2. 37 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 Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Data beban gandar dapat diperoleh dari :

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM.
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 .

Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF pada Tabel 2.38 dan Tabel 2.39 dapat digunakan untuk menghitung ESA. Perkiraan beban gandar kawasan dengan lalu lintas rendah dapat mengacu pada Tabel 2.40.

Tabel 2. 38 Nilai VDF masing – masing jenis kendaraan niaga

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	DDF ₅	VDF ₄	DDF ₅	VDF ₄	DDF 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	20,4	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	14,7	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	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Tabel 2. 39 Nilai VDF masing = masing jenis kendaraan niaga

	Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan -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	VDF4 Pangkat 4	VDF5 Pangkat 5		
KENDARAAN NIAGA	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	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	1		
	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	
	6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2		tanah,pasir,besi,semen	2			7,3	11,2	
	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 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	
	7c2.1	12	Truk 5 sumbu -trailer	1.2-22			5	0,7	1,00	19	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

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Tabel 2. 40 Perkiraan lalu lintas untuk jalan lalu lintas rendah

Deskripsi jalan	LHR dua arah (kend/hari)	Kendaraan berat (% dari lalu lintas)	Umur rencana (th)	Pertumbuhan lalu lintas (%)	Faktor pengali pertumbuhan kumulatif lalu lintas	Kelompok sumbu/kendaraan berat	Kumulatif HVAG (kelompok sumbu)	Faktor ESA/HVAG	Beban lalu lintas desain (aktual) (ESA)
Jalan desa minor dengan akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	22	2	14.454*	3,16	$4,5 \times 10^4$
Jalan kecil dua arah	90	3	20	1	22	2	21.681	3,16	7×10^4
Jalan lokal	500	6	20	1	22	2,1	252.945	3,16	8×10^5
Akses lokal daerah industri atau <i>quarry</i>	500	8	20	3,5	28,5	2,3	473.478	3,16	$1,5 \times 10^6$
Jalan kolektor	2000	7	20	3,5	28,5	2,2	1.585.122	3,16	5×10^6

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.2.5. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau Cumulatif Equivalent Single Axle Load (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan sebagai berikut :

Menggunakan VDF masing – masing kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots(2. 80)$$

Dengan :

ESA_{TH-1} : Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle) pada tahun pertama.

LHR_{JK} : Lintas harian rata –rata tiap jenis kendaraan niaga.

VDF_{JK} : Faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan niaga Tabel 2.38 dan Tabel 2.39

DD : Faktor distribusi arah

DL : Faktor distribusi lajur (Tabel 2.36)

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

2.9.3. Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan pada Tabel 2.41 tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah.

Tabel 2. 41 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (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	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.4. Desain Fondasi Jalan

2.9.4.1. Pengujian Daya Dukung

Spesifikasi umum pelaksanaan menetapkan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam dari 30 cm di bawah elevasi tanah dasar harus dipadatkan sampai 95% kepadatan kering maksimum. Hingga kedalaman 30 cm dari elevasi tanah dasar tanah dipadatkan hingga 100% kepadatan kering maksimum (SNI 03-1742-1989).

Daya dukung rencana tanah dasar diperoleh dari nilai CBR rendaman 4 hari pada 95% kepadatan standar kering maksimum. Tabel 2.43 menunjukkan indikasi daya dukung berbagai jenis tanah. Nilai yang disajikan hanya digunakan sebagai acuan awal. Pengujian daya dukung harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CBR yang sebenarnya.

2.9.4.2. Pengukuran daya dukung dengan DCP (Dynamic Cone Penetration Test)

Pengujian daya dukung dengan DCP tidak memberikan hasil dengan tingkat ketelitian yang sama dengan pengujian di laboratorium. Pengujian DCP hanya dilakukan pada kondisi berikut:

- a. Tanah rawa jenuh air sehingga tidak mungkin dapat dipadatkan sehingga pengujian CBR laboratorium menjadi tidak relevan. Dalam hal ini nilai CBR yang diperoleh dari pengujian DCP memberikan nilai yang lebih dapat diandalkan. Pengujian DCP juga digunakan untuk menentukan kedalaman tanah lunak (Lampiran H). Pengujian penetrometer atau piezometer juga dapat digunakan.
- b. Pada kawasan tanah aluvial kering, khususnya daerah persawahan, kemungkinan terdapat lapisan dengan kepadatan rendah (antara 1200 – 1500 kg/m³) di bawah permukaan tanah yang kering. Pengujian DCP harus dilakukan untuk memastikan kondisi faktual terbasah di lapangan dan harus diperhitungkan dalam desain. Untuk keamanan, dalam proses desain harus diasumsikan bahwa lapisan tersebut jenuh selama musim penghujan.

Nilai modulus tanah dasar yang diperoleh dari DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim. Faktor penyesuaian minimum ditunjukkan pada Tabel 2.42.

Setelah penyesuaian harus diingat bahwa akurasi nilai DCP pada musim kemarau adalah rendah. Dengan pertimbangan tersebut, untuk mengurangi ketidakpastian nilai DCP akibat pengaruh musim kemarau, disarankan untuk mengadakan pengujian DCP pada musim hujan.

Tabel 2. 42 Faktor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim

Musim	Faktor penyesuaian minimum nilai CBR berdasarkan pengujian DCP
Musim hujan dan tanah jenuh	0.90
Masa transisi	0.80
Musim kemarau	0.70

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Nilai CBR desain = (CBR hasil pengujian DCP) x faktor penyesuaian).

Tabel 2. 43 Indikasi perkiraan nilai CBR (Tidak berlaku untuk tanah aluvial jenuh atau gambut)

	Posisi muka air tanah	Dibawah standar minimum (tidak dianjurkan)	Sesuai desain standar	≥ 1200 mm dibawah tanah dasar
	implementasi	Semua galian kecuali seperti ditunjukan untuk kasus -3 dan timbunan tanpa drainase yang baik dan LAP* < 1000 mm di atas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1** dan semua timbunan berdrainase baik ($m \geq 1$) dan LAP > 1000 mm di atas muka tanah asli
Jenis tanah	Kasus PI	1	2	3
Lempung	50 -70	2	2	2,5
Lempung kelanauan	40	2,5	3	3,5
	30	3	4	4
Lempung Kepasiran	20	4	4	5
	10	4	4	5
Lanau		1	1	2

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

*LAP : Level Akhir Permukaan

** Lihat Zona Iklim di lampiran 1

2.9.4.3. Umur rencana fondasi perkerasan

Umur rencana fondasi untuk jalan baru dan pelebaran minimum 40 tahun dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a) Fondasi perkerasan tidak dapat ditingkatkan selama masa pelayanan, kecuali dengan cara rekonstruksi menyeluruh.
- b) Perkerasan lentur dengan desain fondasi di bawah standar mungkin memerlukan perkuatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan (*lifecycle cost*) menjadi lebih mahal dibandingkan dengan perkerasan yang didesain dengan baik.
- c) Perkerasan kaku di atas tanah lunak dengan desain fondasi di bawah standar (*under design*) cenderung mengalami keretakan dini yang dalam kasus terburuk mungkin memerlukan penggantian pelat beton.

2.9.4.4. Penentuan segmen tanah dasar yang seragam

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).

Dua metode perhitungan CBR karakteristik diuraikan sebagai berikut :

3. Metode distribusi normal standar

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

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata-rata} - f \times \text{deviasi standar} \dots\dots\dots(2. 81)$$

- $F = 1,645$ (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 segman kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

4. 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 (*10th percentile*) 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.

Prosedur perhitungan untuk presentil ke – 10 adalah sebagai berikut:

- i. Susun data CBR secara berurutan dari nilai terkecil hingga terbesar.
- ii. Hitung jumlah total data nilai CBR (n).
- iii. Hitung 10% dari (n), nilai yang diperoleh disebut sebagai indeks.
- iv. 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).
- v. (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.
- vi. (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.

2.9.4.5. CBR rencana untuk stabilitas tanah dasar

Perbaikan tanah dasar dapat berupa material timbunan pilihan, stabilisasi kapur, atau stabilisasi semen. Pelebaran perkerasan pada galian biasanya meliputi pembentukan tanah dasar yang sempit atau tidak teratur sehingga menyulitkan pelaksanaan stabilisasi. Dalam kasus yang demikian sebaiknya digunakan perbaikan dengan material timbunan pilihan.

Dalam perencanaan jika dipilih stabilisasi kapur atau semen maka nilai daya dukung material (CBR) dipilih nilai terkecil dari tiga nilai berikut:

- a. daya dukung rendaman 4 hari dari material yang distabilisasi;
- b. empat kali daya dukung tanah asal sebelum distabilisasi;
- c. daya dukung yang diperoleh dari formula berikut:

$$CBR_{\text{stabilisasi}} = CBR_{\text{tanah asal}} \times 2^{(\text{tebal lapis stabilisasi dalam mm})/150} \dots\dots\dots(2. 82)$$

Tebal total tanah dasar stabilisasi adalah 150 mm untuk pemadatan biasa atau sampai dengan 300 mm apabila disyaratkan dan digunakan alat pemadat *pad foot* dengan berat statik 18 ton.

Tabel 2. 44 Desain Fondasi Jalan Minimum⁽¹⁾

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencan dengan umur rencan 40 tahun (juta ESA5)			Stabilisasi semen ⁽⁶⁾
			<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 umu, Devisi 3- Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm 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 pemuai > 5%)			400	500	600	
Perkerasan diatas tanah lunak ⁽²⁾	SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ^{(4) (5)}	1000	1100	1200	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasaan lentur
		atau lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS dan DBTS untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1250	1500	

(1) Desain harus mempertimbangkan semua hal yang kritikal, syarat tambahan mungkin berlaku.

(2) Ditandai dengan kepadatan dan CBR lapangan yang rendah.

(3) Menggunakan nilai CBR insitu, karena CBR rendaman tidak relevan.

(4) Permukaan lapis penopang diatas tanah SG1 dan gambut diasumsikan mempunyai daya dukung setara nilai CBR 2,5% dengan demikian ketentuan perbaikan tanah SG2,5 berlaku

(5) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asal dipadatkan pada kondisi kering.

2.9.5. Desain Fondasi Perkerasan Lentur

2.9.5.1. 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. Pemilihan tebal perbaikan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 2.44. Ketentuan mengenai elevasi permukaan fondasi memenuhi persyaratan Tabel 2.49.

2.9.5.2. Tanah lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal¹ 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.

2.9.5.3. 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.

Tanah aluvial kering umumnya terdapat pada area endapan dan persawahan kering. Masalah utama dari kondisi tanah seperti ini adalah penurunan daya dukung akibat musim hujan dan kerusakan akibat beban lalu lintas selama periode konstruksi. Oleh sebab itu, desain harus dilakukan dengan asumsi bahwa kondisi musim hujan akan terjadi selama periode konstruksi.

2.9.5.4. Gambut

Fondasi pada area gambut harus memenuhi persyaratan minimum Tabel 2.44, akan tetapi persyaratan tersebut belum tentu mencukupi. Oleh karena itu dilakukan penyelidikan geoteknik untuk semua area gambut dan analisis harus meliputi penentuan waktu pra-pembebanan, besar penurunan dan nilai CBR efektif pada permukaan lapis penopang.

Pelaksanaan konstruksi harus dilakukan secara bertahap untuk mengakomodasi terjadinya konsolidasi sebelum pelaksanaan lapis-lapis perkerasan lentur. Proses konsolidasi harus dipantau menggunakan pelat penurunan (*settlement plate*).

2.9.6. Desain Perkerasan

2.9.6.1. Struktur Perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan beban lalu lintas rencana dan pertimbangan biaya terendah ditunjukkan pada:

- Tabel 2.48 Perkerasan Lentur.

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.

- Pangkat 4 digunakan pada desain perkerasan lentur berdasarkan Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B atau metode AASHTO 1993 (pendekatan statistik empirik).
- Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (seperti Burtu atau Burda), perkerasan tanpa penutup (*Unsealed granular pavement*) dan perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lendutan untuk kriteria alur (*rutting*).
- Pangkat 5 digunakan untuk desain perkerasan lentur (kaitannya dengan faktor kelelahan aspal beton dalam desain dengan pendekatan Mekanistik Empiris) termasuk perencanaan tebal overlay berdasarkan grafik lengkung lendutan (*curvature curve*) untuk kriteria retak lelah (*fatigue*).
- Desain perkerasan kaku menggunakan jumlah kelompok sumbu kendaraan berat (*Heavy Vehicle Axle Group, HVAG*) dan bukan nilai ESA sebagai satuan beban lalu lintas untuk perkerasan beton.

Solusi lain dapat dipilih untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat. Namun demikian, disarankan untuk tetap menggunakan tabel 2.48 tersebut di atas sebagai langkah awal untuk semua desain.

2.9.6.2. Metode desain perkerasan lentur dengan lapis beraspal

Basis dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal yang digunakan pada manual ini adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, struktur perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan.

Respons struktural tersebut digunakan untuk memprediksi kinerja struktur perkerasan dalam hal deformasi permanen dan retak lelah. Karena prediksi tersebut didasarkan pada kinerja material di laboratorium dan pengamatan di lapangan, pendekatan ini disebut sebagai metode mekanistik empiris. Keunggulan utama metode desain mekanistik adalah dimungkinkannya analisis pengaruh perubahan masukan desain, seperti perubahan material dan beban lalu lintas, secara cepat dan rasional.

Secara umum, model struktur perkerasan yang digunakan dalam manual ini adalah struktur multi lapisan yang bersifat elastik linier, isotropik (untuk material berpegikat, *bounded material*) dan anisotropik untuk material tanpa pegikat (*unbounded material*), lapis CTB dianggap telah mengalami retak (kondisi *post cracking*).

Untuk material isotropik dua parameter elastik yang digunakan adalah modulus elastik E dan rasio Poisson μ . Untuk material *cross-anisotropic* diperlukan 5 elastik parameter yaitu E_v , E_h , μ_{vh} , μ_{hh} dan modulus geser f . Dengan E_v dan E_h masing-masing adalah modulus dalam arah vertikal dan horizontal. Parameter μ_{vh} dan μ_{hh} masing-masing adalah rasio Poisson dalam arah vertikal akibat horizontal. Atas pertimbangan praktis, rasio Poisson pada kedua arah tersebut di anggap identik.

Karakteristik material granular yang *non-linear* didekati dengan membagi lapis granular dalam beberapa lapisan dengan modulus E yang berbeda.

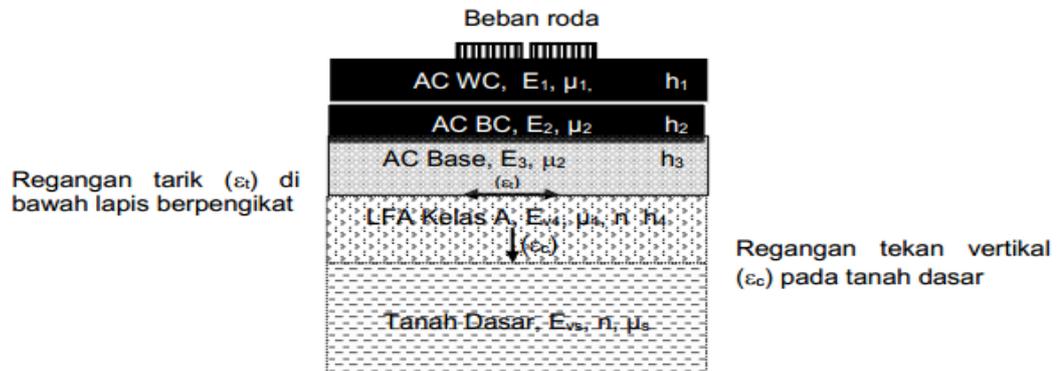
Prosedur yang digunakan didasarkan pada asumsi bahwa dua regangan yang kritis terkait dengan kinerja perkerasan adalah:

- Regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar.

- Regangan tarik horizontal pada serat terbawah lapis berpengikat (aspal atau pengikat lain seperti semen).

2.9.6.3. Prosedur desain

Tipikal sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik ditunjukkan pada Gambar 2.36.



Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Gambar 2. 36 Tipikal Sistem Perkerasan

Parameter elastik material yang digunakan adalah:

Untuk material isotropik :

E_i = Modulus elastik lapisan i ;

μ_i = Rasio poisson lapis i ;

Untuk material anisotropik :

E_{vi} = Modulus elastik arah vertikal lapis i ;

E_{hi} = Modulus elastik arah horizontal lapis i ;

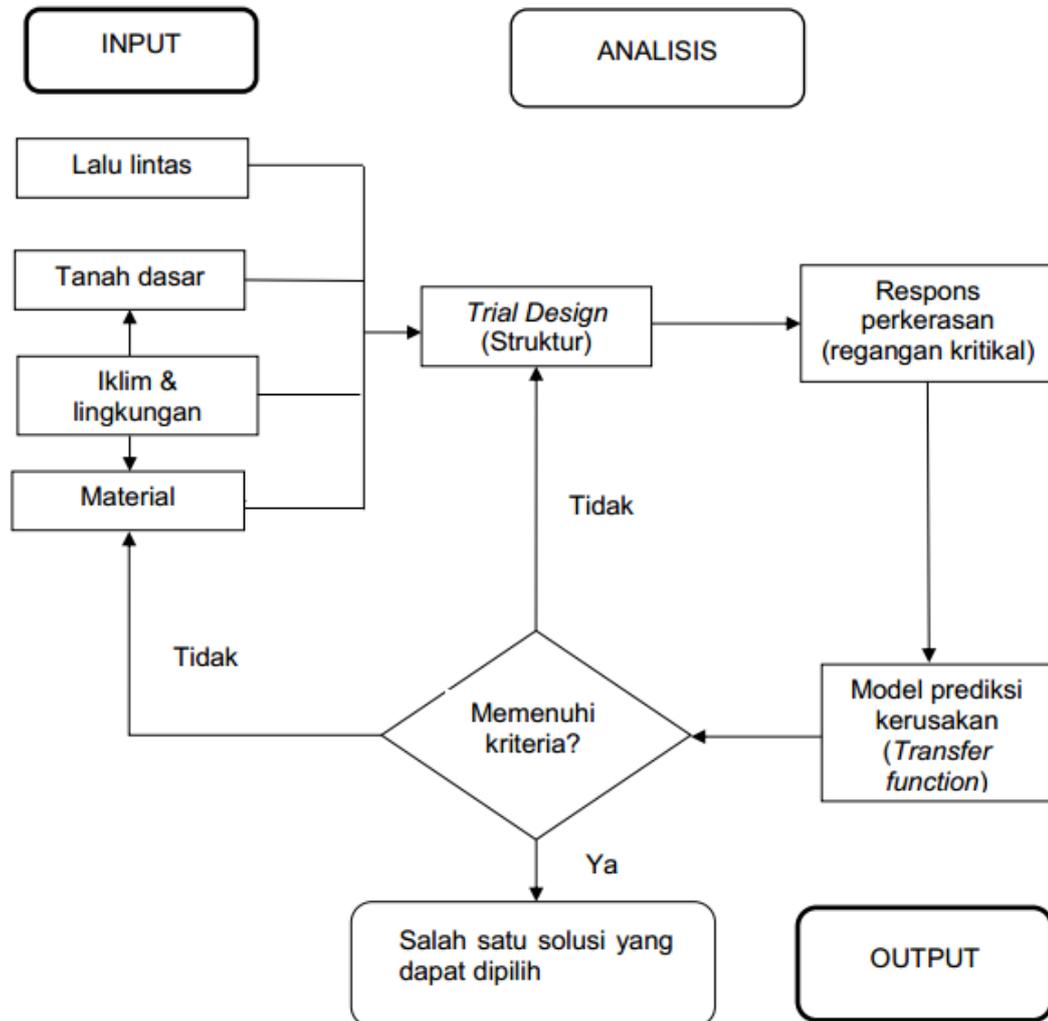
n = Derajat anisotropik (E_v/E_h)

μ_i = Rasio poisson (dalam semua arah);

f_i = Modulus geser lapis $i = \frac{E_{vi}}{1 + \mu_i}$

Seperti ditunjukkan pada bagan alir prosedur perencanaan (Gambar 2.36), proses desain bersifat iteratif (*trial and error*). Dimulai dengan memilih suatu struktur yang diperkirakan akan mampu menerima beban rencana. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan besaran regangan kritis untuk melihat apakah struktur tersebut dapat menerima beban rencana. Apabila ternyata seluruh atau salah satu regangan kritis tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak

dapat menerima beban rencana maka dilakukan perubahan struktur (dapat berupa perubahan dimensi atau material, atau kedua-duanya). Analisis diulangi untuk menghitung regangan-regangan kritikal dan seterusnya hingga diperoleh struktur yang memenuhi kriteria desain.



Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Gambar 2. 37 Prosedur desain perkerasan lentur menggunakan pendekatan mekanistik

2.9.6.4. Model Kinerja (Fungsi Transfer)

Model atau persamaan kinerja (fungsi transfer) adalah suatu fungsi yang menghubungkan respons perkerasan terhadap beban (berupa tegangan atau regangan) dengan kinerja perkerasan (berupa retak leleh dan deformasi permanen). Berikut ini adalah fungsi transfer yang digunakan pada manual ini.

2.9.6.4.1 Retak lelah lapis beraspal

Untuk aspal konvensional pada perkerasan dengan beban sedang hingga berat, fungsi transfer yang menunjukkan hubungan antara regangan tarik maksimum akibat beban tertentu dan jumlah repetisi izin beban tersebut untuk kinerja retak lelah adalah:

$$N = RF \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right]^5 \dots\dots\dots (2. 83)$$

- Dengan :
- N = Jumlah repetisi izin beban
 - $\mu\epsilon$ = Regangan tarik akibat beban (*microstrain*)
 - Vb = Volume aspal dalam campuran (%)
 - S_{mix} = Modulus campuran aspal (MPa)
 - RF = Faktor reliabilitas (Tabel 2.45)

Tabel 2. 45 Faktor reliabilitas (RF) retak lelah campuran beraspal

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97.5%
2,5	2,0	1,5	1,0	0,67

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.6.4.2 Retak lelah lapis berpengikat semen

Untuk campuran dengan berpengikat semen dengan modulus antara 2000 – 10.000 MPa (CTB pada kondisi *pre-cracking*), hubungan antara regangan tarik dan jumlah repetisi beban adalah:

$$N = RF \left[\frac{\left(\frac{113000}{E^{0,804}} + 191 \right)}{\mu\epsilon} \right]^{12} \dots\dots\dots (2. 84)$$

- Dengan,
- N = jumlah repetisi izin beban
 - $\mu\epsilon$ = regangan tarik akibat beban (*microstrain*)
 - E = modulus bahan berpengikat semen
 - RF = faktor reliabilitas (Tabel 2.46)

Tabel 2. 46 Faktor reliabilitas (RF) retak lelah campuran berpengikat semen

Reliabilitas				
80%	85%	90%	95%	97.5%
4,7	3,3	2,0	1,0	0,50

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.6.4.3 Deformasi permanen

Walaupun model yang digunakan mengasumsikan bahwa material bersifat elastik, namun pada kenyatannya tidak semua regangan yang akibat beban lalu lintas bersifat elastik murni (*recoverable*). Sebagian dari regangan vertikal tersebut tidak kembali (*plastic strain*). Besaran regangan plastik berbanding langsung dengan regangan elastik. Pada tanah dasar akumulasi dari regangan yang tidak kembali tersebut membentuk deformasi permanen.

Semakin dekat dengan permukaan perkerasan regangan elastik semakin besar. Dengan demikian, pembatasan regangan tekan elastik pada permukaan tanah dasar akan mengendalikan regangan tekan elastik pada lapisan-lapisan di atasnya sehingga total regangan plastik akan juga terkendali. Model pembatasan regangan pada tanah dasar sebagai pengendali kinerja berdasarkan kriteria deformasi permanen adalah:

$$N = \left[\frac{9300}{\mu\epsilon} \right]^7 \dots\dots\dots (2. 85)$$

Dengan:

N = Jumlah repetisi izin beban

$\mu\epsilon$ = Regangan tekan pada permukaan tanah dasar

2.9.7. Karakteristik material

2.9.7.1. Material berpengikat

Karakteristik modulus bahan berpengikat (*bounded materials*) dan tanah dasar yang digunakan pada manual ini ditunjukkan pada Tabel 2.47.

Tabel 2. 47 Karakteristik bahan berpengikat yang digunakan untuk pengembangan bagan desain dan untuk analisis mekanistik

Jenis Bahan	Modulus Tipikal	Poisson's Ratio	Koefisien Relatif (a)
HRS WC	800 MPa	0,4	Sesuai PdT -01-2002-B
HRS BC	900 Mpa		
AC WC	1100 Mpa		
AC BC (Lapis Atas)	1200 Mpa		
AC Base atau AC BC (sebaga base)	1600 Mpa		
Bahan Bersemen (CTB)	500 MPa retak post cracking	0,2 (mulus) 0,35 (retak)	
Tanah Dasar (Disesuaikan Musim)	10 x CBR (Mpa)	0,45 (tanah kohesif)	
		0,35 (tanah non kohesif)	

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Tabel 2. 48 Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum Dengan CTB¹⁾

	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA 5 lihat tabel 2.44 a, 2,44 b dan 2.44 c	Lihat tabel desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana 10 ⁶ ESA ₅	> 10 - 30	>30-50	>50-100	>100 - 200	>200-500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis fondasi	<i>Cement Treated Base (CTB)</i>				

AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agegat Kelas A	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

1. Ketentuan – ketentuan struktur fondasi Tabel 2.44 berlaku
2. CTB mungkin tidak ekonomis untuk jalan dengan beban lalu lintas < 10 juta ESA5. Rujuk Tabel 2.48a, 2.48b, 2.48c

Tabel 2.48a Desain Perkerasan Lentur dengan HRS¹

Kumulatif beban sumbu 20 tahun rencana pada lajur rencana (10^6 CESA ₅)	FFI < 0,5	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
Jenis Permukaan	HRS atau Penetrasi Makadam	HRS
Stuktur Perkerasan	Tebal Lapisan (mm)	
HRS WC	50	
HRS Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas A atau LFA kelas B atau kerikil alam atau disabilitas dengan CBR > 10 % ³	150	125

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

1. Tabel 2.48a merupakan alternatif untuk daerah yang HRS menunjukkan riwayat kinerja yang baik dan daerah yang dapat menyediakan material yang sesuai (*gap graded mix*).
2. HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan daerah perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta ESA5
3. Kerikil alam dengan atau material stabilisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumber daya penyedia jasa yang mumpuni tersedia. Ukuran material LFA kelas B lebih besar dari pada kelas A sehingga lebih mudah mengalami segregasi. Ukuran butir material kelas B yang lebih besar membatasi tebal minimum material kelas B. Walaupun dari segi mutu material kelas A lebih tinggi dari pada material kelas B, dari segi harga material LFA kelas A dan B tidak terlalu berbeda sehingga untuk jangka waktu panjang LFA kelas A dapat menjadi pilihan yang lebih kompetitif.

Tabel 2.48b Desain Perkerasan Lentur – Aspal dengan lapis fondasi berbutir

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur (10^6 ESA ₅)	< 2	≥ 2 - 4	> 4 - 7	> 7 -10	> 10 - 20	> 20-30	> 30-50	>50-100	>100-200
Ketebalan lapisan 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				

Catatan :

1. FFF1 atau FFF2 harus lebih diutamakan daripada solusi FF1 dan FF2 (Tabel. 2.48a) atau dalam situasi jika HRS berpotensi mengalami *rutting*.
2. Perkerasan dengan CTB (Tabel 2.48) dan pilihan perkerasan kaku dapat lebih efektif biaya tapi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia.
3. Untuk desain perkerasan lentur dengan beban > 10 juta CESA5, diutamakan menggunakan Tabel 2.48. Tabel 2.48b digunakan jika CTB sulit untuk diimplementasikan. Solusi dari FFF5 - FFF9 dapat lebih praktis daripada solusi Tabel 2.48 atau 4 untuk situasi konstruksi tertentu seperti: (i) perkerasan kaku atau CTB bisa menjadi tidak praktis pada pelebaran perkerasan lentur eksisting atau, (ii) di atas tanah yang berpotensi konsolidasi atau, (iii) pergerakan tidak seragam (dalam hal perkerasan kaku) atau, (iv) jika sumber daya kontraktor tidak tersedia.
4. Tebal minimum lapis fondasi agregat yang tercantum di dalam Tabel 2.48 dan 2.48a diperlukan untuk memastikan drainase yang mencukupi sehingga dapat membatasi kehilangan kekuatan perkerasan pada musim hujan. Kondisi tersebut berlaku untuk semua bagan desain kecuali Tabel 2.48b.
5. Tebal LFA berdasarkan Tabel 2.48b dapat dikurangi untuk *subgrade* dengan daya dukung lebih tinggi dan struktur perkerasan dapat mengalirkan air dengan baik (faktor $m \geq 1$). Lihat Tabel 2.48c.
6. Semua CBR adalah nilai setelah sampel direndam 4 hari.

Tabel 2.48c Peyesuain Tebal Lapis Fondasi Agregat A Untuk Tanah Dasar $CBR \geq 7\%$

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusiyang dipilih					Lihat Catatab 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur (10^6 ESA_5)	> 2	> 2 - 4	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20-30	> 30-50	>50-100	>100-200
Tebal LFA A (mm) penyesuaian terhadap tabel desain 2.44 b									
Subgrade $CBR \geq 5,5$ - 7	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade $CBR > 7$ - 10	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade $CBR \geq 10$	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade $CBR \geq 15$	200	150	150	150	150	150	150	150	150

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

2.9.8. Jenis – Jenis Perkerasan

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu-lintas. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada dua jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis struktur perkerasan baru 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*)



2. Perkerasan Lentur pada Timbunan



3. Perkerasan Lentur pada Galian



Gambar 2. 38 Tipikal struktur perkerasan lentur (lalu lintas berat)

1. Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli (*At Grade*)



2. Perkerasan Kaku pada Timbunan



3. Perkerasan Kaku pada Galian



Gambar 2. 39 Struktur Perkerasan Kaku

Kelancaran arus lalu lintas sangat tergantung dari kondisi jalan yang ada, semakin baik kondisi jalan maka akan semakin lancar lalu lintasnya. Untuk itu dalam perencanaan jalan perlu dipertimbangkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi fungsi pelayanan jalan tersebut seperti fungsi jalan, kinerja perkerasan, umur rencana, lalu lintas yang merupakan beban dari perkerasan jalan, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan, sifat dan jumlah material yang tersedia di lokasi yang akan dipergunakan sebagai bahan lapis perkerasan, dan bentuk geometrik lapisan perkerasan. Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dibagi menjadi 2 jenis :

a. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan jalan yang bahan pengikatnya adalah beton semen, sehingga sering disebut juga perkerasan beton semen (*concrete pavement*). Perkerasan beton yang

kaku dan memiliki modulus elastisitas tinggi akan mendistribusikan beban ke tanah dasar sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari pelat beton itu sendiri. Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan lentur dengan menggunakan metode Bina Marga adalah :

- 1) Menentukan daya dukung tanah dasar (DDT) dengan cara menggunakan pemeriksaan CBR. Nilai DDT diperoleh dari konversi nilai CBR tanah dasar dengan menggunakan :
 - a) Grafik korelasi nilai CBR dan DDT
 - b) Persamaan : $DDT = 1,6649 + 4,3592 \log (CBR)$
- 2) Menentukan umur rencana (UR) dari jalan yang hendak direncanakan.
- 3) Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas ($i\%$) selama masa pelaksanaan dan selama umur rencana.
- 4) Menentukan faktor regional (FR). Hal-hal yang mempengaruhi nilai FR antara lain adalah:
 - a) Prosentase kendaraan berat.
 - b) Kondisi iklim dan curah hujan setempat.
 - c) Kondisi persimpangan yang ramai.
 - d) Keadaan medan.
 - e) Kondisi drainase yang ada.
 - f) Pertimbangan teknis lainnya.
- 5) Menentukan Lintas Ekuivalen Jumlah repetisi beban yang akan menggunakan jalan tersebut dinyatakan dalam lintasan sumbu standar atau lintas ekuivalen. Lintas ekuivalen yang diperhitungkan hanya untuk jalur tersibuk atau lajur dengan volume tertinggi.
 - a) Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP), lintas ekuivalen pada saat jalan tersebut dibuka atau pada awal umur rencana disebut Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP), yang diperoleh dari persamaan :

$$LEP = \sum A_j \times E_j \times C_j \times (1+i)^n$$
, dimana :

A_j = jumlah kendaraan untuk satu jenis kendaraan.

E_j = angka ekuivalen beban sumbu untuk satu jenis kendaraan.

C_j = koefisien distribusi kendaraan pada jalur rencana.

I = faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan sampai jalandibuka.

n' = jumlah tahun dari saat pengambilan data sampai jalandibuka.

J = jenis kendaraan

- b) Lintas Ekuivalen Akhir (LEA), besarnya lintas ekuivalen pada saat jalan tersebut membu-tuhkan perbaikan struktural disebut Lintas Ekuivalen Akhir (LEA), yang diperoleh dari persamaan :

$$LEA = LEP (1+r)^{UR}, \text{ dimana :}$$

LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan.

r = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.

UR = Umur rencana jalan tersebut.

- c) Lintas Ekuivalen Tengah (LET), Lintas Ekuivalen Tengah diperoleh dengan persamaan :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2}$$

- d) Lintas Ekuivalen Rencana (LER), besarnya lintas ekuivalen yang akan melintasi jalan tersebut selama masa pelayanan, dari saat dibuka sampai akhir umurrencana disebut Lintas Ekuivalen Rencana, yang diperoleh dari persamaan :

$$LER = LET \times FP, \text{ dimana :}$$

$$FP = \text{faktor Penyesuaian dan } FP = \frac{UR}{2}$$

6) Menentukan Indeks Permukaan (IP)

- a) Indeks Permukaan Awal (IPo) yang ditentukan sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan dipakai.
- b) Indeks Permukaan Akhir (IPt) berdasarkan besarnya nilai LER dan klasifikasi jalan tersebut.

7) Menentukan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dengan menggunakan rumus dasar metode AASHTO 1972, yang telah memasukkan faktor regional yang terkait dengan kondisi lingkungan dan faktor daya dukung tanah dasar yang terkait dengan perbedaan kondisi tanah dasar, sehingga didapat persamaan :

$$\text{Log Wt18} \Rightarrow 9,36 \log (\text{ITP} \Rightarrow 1) - 0,20 \Rightarrow \frac{\text{Gt}}{0,4 \Rightarrow \frac{1094}{(\text{ITP} \Rightarrow 1)^{5,19}}}$$

+ log FR + 0,372 (DDT – 3,0), dengan :

$$\text{GT} = \frac{(\text{IP}_o - \text{IP}_t)}{(4,42 - 1,5)}, \text{ dimana :}$$

Gt	=	fungsi logaritma dari perbandingan antara kehilangan tingkat pelayanan dari IP = Ipo sampai IP = Ipt dengan kehilangan tingkat pelayanan dari Ipo sampai IP = 1,5.
Wt18	=	beban lalu lintas selama umur rencana atas dasar bebansumbu tunggal 18000 pon yang telah diperhitungkan ter-hadap faktor regional.

(Sumber : Sukirman, S., Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1999)

Selain dengan menggunakan rumus tersebut, untuk menentukan Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dapat juga menggunakan nomogram-nomogram yang terdapat dalam buku Peteunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen (Bina Marga).

- 8) Menentukan koefisien kekuatan relatif (a) dan tebal minimum (D), setelah nilai ITP didapat kemudian ditentukan nilai koefisien kekuatan relatif.
- Koefisien kekuatan relatif dari jenis lapis perkerasan yang dipilih.
 - Menentukan masing-masing tebal minimal lapis perkerasanyang telah ditentukan.
 - Menentukan tebal lapis perkerasan yang akan dicari dengan persamaan :

$$\text{ITP} = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3, \text{ dimana :}$$

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan.

D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapis perkerasan (cm).

Angka 1, 2, dan 3 masing-masing untuk lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah.

Perkiraan tebal masing-masing lapis perkerasan tergantung dari ketebalan mini-mum yang ditentukan oleh Bina Marga.

b. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan jalan yang pengikatnya adalah aspal. Lapisan perkerasan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya sampai ke tanah dasar.

Parameter perencanaan perkerasan kaku metode Bina Marga 2002 tersebut antara lain adalah :

- 1) Lalu lintas, perhitungan lalu lintas dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga(*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Hanya diperhitungkan terhadap kendaraan niaga. Persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

$R = \frac{(1+i)^n - 1}{{}^e\log(1+i)}$	Untuk i tetap
$R = \frac{(1+i)^m - 1}{{}^e\log(1+i)} + (n+m)(1+i)^{m-1}$	Untuk i berhenti
$R = \frac{(1+i')^m - 1}{{}^e\log(1+i)} + \frac{(1+i)^m [(1+i')^{n-m} - 1]}{{}^e\log(1+i')}$	Untuk i berubah

Keterangan :

JKN = Jumlah kendaraan niaga

JKNH = JKNH harian saat jalan dibuka

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

n/m = Tahun rencana

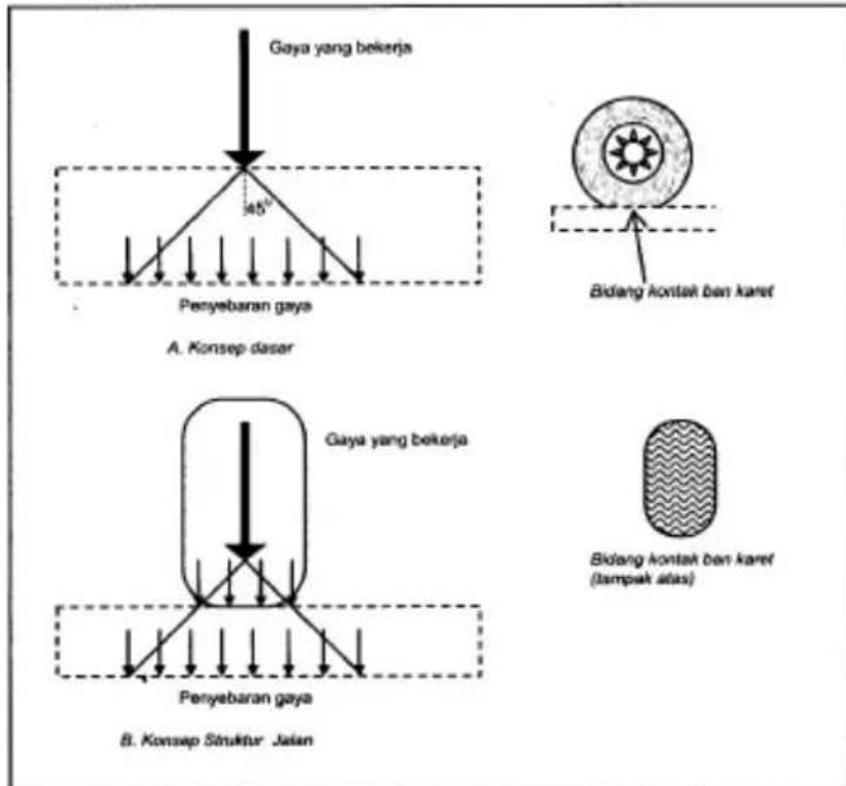
i/i' = Pertumbuhan lalu lintas

- 2) Tanah dasar, daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR.
- 3) Pondasi bawah, bahan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir, stabilisasi, dan campuran beton kurus.
- 4) Material konstruksi, kekuatan beton dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strength) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok yang besarnya 30-50 kg/cm².
- 5) Faktor erosi dan tegangan ekuivalen, prosedur perencanaan perkerasan kaku didasarkan atas dua model kerusakan yaitu :
 - a) Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
 - b) Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji. Data lalu lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

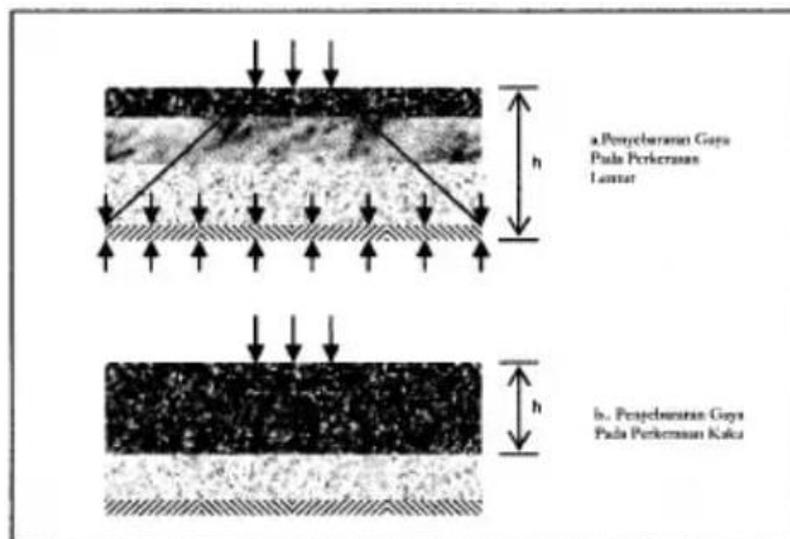
2.9.9. Penyebaran Gaya

Penyebaran gaya pada struktur perkerasan jalan dipengaruhi oleh bidang kontak roda kendaraan pada permukaan jalan yang bentuknya menyerupai bentuk lonjong lihat gambar 2.40.



Gambar 2. 40 Penyebaran Gaya

Penyebaran gaya pada perkerasan lentur sampai ketanah dasar dan tebal pekerasan diberikan sampai dengan kondisi kemampuan tanah menerima beban atau tegangan, sedangkan pada perkerasan kaku sepenuhnya dipikul oleh pelat beton lihat gambar 2.41



Gambar 2. 41 Penyebaran Gaya Pada Perkerasan Lentur Dan Kaku

2.9.9.1. Teori Boussinesq

- Material dianggap homogen, elastis, dan isotropis
- Perkerasan hanya dianggap sebagai 'single layer'.
- Penyebaran tegangan parabolis, dengan sebaran mengikuti formula berikut:

$$\sigma_z = \frac{3p}{2z \left\{ 1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right\}^{3/2}}$$

Faktor defleksi :

$$D = \frac{1,5 p \cdot a^2}{2E (a^2 + z^2)^{1/2}}$$

2.9.9.2. Teori Burmister

- *Two layers*
- Setiap lapis, homogen, elastis, isotropis

Defleksi :

$$D = \frac{1,5 p \cdot a^2}{E_2} F_2 \text{ (untuk lentur)}$$

Dimana : E_1 = modulus elastisitas pekerjaan

E_2 = modulus elastisitas tanah dasar.

F_2 = Koefisien defleksi kedua lapisan.

a = jarak beban dari titik pusat radial.

Bila modulus $E_1 = E_2$ maka persis sama dengan Boussinesq

2.9.9.3. Teori Berlapis Banyak (Multi Layer Theory)

Memberikan kondisi regangan dalam 3 dimensi :

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \{ \sigma_z - \mu (\sigma_r + \sigma_t) \}$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \{ \sigma_r - \mu (\sigma_t + \sigma_z) \}$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} \{ \sigma_t - \mu (\sigma_r + \sigma_z) \}$$

z,t,r berturut –turut dalam arah vertical, tangensial, dan radial rumus yang sebenarnya merupakan formula umum tegangan – regangan yang banyak kita jumpai di struktur badan kaku lain.

2.9.10. Drainase Perkerasan

Drainase bawah permukaan (*sub surface pavement drainage*) harus memenuhi ketentuan ketentuan berikut :

- Seluruh lapis fondasi bawah (*subbase*) harus dapat mengalirkan air atau cukup *permeable*.
- Desain pelebaran perkerasan harus memastikan bahwa air dari lapis granular terbawah perkerasan eksisting dapat dialirkan dengan baik.
- Lintasan drainase yang kurang dari 500 mm dari tepi luar lapis granular ke tepi *verge* timbunan dapat mengalirkan air.
- *French drains* dalam arah melintang pada setiap titik terendah arah memanjang dan setiap 10 m dianggap dapat mengalirkan air dari lapis fondasi bawah.
- Jika lapis fondasi bawah lebih rendah dari ketinggian tanah disekitarnya, maka harus dipasang *subdrain* (apabila memungkinkan hindari kondisi seperti ini dengan membuat desain geometrik yang baik).
- Jika *subdrain* tidak tersedia, atau jika muka air tanah lebih tinggi dari 600 mm di bawah tanah dasar, maka sesuaikan tebal lapisan berbutir dengan menggunakan nilai faktor “m” sesuai dengan klausul 2.4.1 dari AASHTO Pavement Design Guide 1993 dan Tabel 2.50.
- *Subdrain* harus dibuat berdekatan dengan saluran U atau struktur lain yang berpotensi menghalangi aliran air dari setiap lapisan fondasi bawah. Sulingan pada dinding saluran tepi tidak dapat diandalkan untuk berfungsi sebagai *subdrain*.
- *Subdrain* harus dipasang dengan kemiringan seragam tidak kurang dari 0.5% untuk memastikan bahwa air dapat bebas mengalir melalui *subdrain* ke titik-titik pembuangan. Selain itu, harus disediakan akses untuk memudahkan pembersihan *subdrain* pada interval jarak tidak lebih dari 60 m. Level *inlet* dan *outlet subdrain* harus lebih tinggi dari level banjir.

- Untuk jalan dengan median pemisah, sistim *subdrain* pada median harus dibuat jika kemiringan permukaan jalan mengarah ke median (pada superelevasi).

Perencana perkerasan harus menjelaskan kriteria drainase perkerasan kepada perencana drainase dan harus memastikan bahwa drainase yang dikehendaki diuraikan dengan jelas pada gambar rencana.

2.9.10.1. Tinggi Minimum Timbunan Untuk Drainase Perkerasan

Tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.49.

Tabel 2. 49 Tinggi Minimum Tanah Dasar Diatas Muka Air Tanah Dan Air Banjir

Kelas Jalan (berdasarkan spesifikasi Penyediaan prasarana Jalan)	Tinggi tanah dasar diatas muka air tanah (mm)	Tinggi tanah dasar diatas muka air banjir (mm)
Jalan bebas Hambatan	1200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (Banjir 50 tahunan)
	1700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan raya	1200 (tanah lunak jenuh atau gambut tanpa lapis drainase)	
	800 (tanah lunak jenuh atau gambut dengan lapis drainase)	
	600 (tanah dasar normal)	
Jalan sedang	600	500 (Banjir 10 tahunan)
Jalan kecil	400	NA

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

Apabila timbunan terletak di atas tanah jenuh air sedangkan ketentuan tersebut di atas tidak dapat dipenuhi maka harus disediakan lapis drainase (*drainage blanket layer*). Lapisan tersebut berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan material halus tanah lunak ke dalam lapis fondasi (*subbase*). Kontribusi daya dukung lapis drainase terhadap daya dukung struktur perkerasan tidak diperhitungkan.

Tabel 2. 50 Koefisien Drainase ‘m’ Untuk Tebal Lapis Berbutir

Kondisi lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai m yang sesuai)	nilai 'm' untuk design	Detail Tipikal
1. Galian dengan drainase bawah permukaan yang ideal (outlet drainase bawah permukaan selalu di atas muka air banjir)	1.0	
2. Timbunan dengan lapis pondasi bawah menerus sampai bahu jalan (day-lighting) (tidak terkena banjir)	1.0	
3. Timbunan dengan tepi permeabilitas rendah dan lapis pondasi bawah berbentuk kotak.	1.0	
4. Galian pada permukaan tanah atau timbunan tanpa drainase bawah permukaan dan permeabilitas rendah pada pinggir > 500 mm. Gunakan 0,9 jika ≤ 500 mm	0.7	
5. Tanah dasar jenuh air secara permanen selama musim hujan dan tidak teralirkan. Tidak ada sistem outlet. Ketentuan lapisan penopang (capping layer) dapat digunakan.	0.4	

Sumber : RTA

2.9.11. Ketebalan lapis perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan pada Tabel 2.51. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan.

Tabel 2. 51 Ketebalan lapisan yang diizinkan dan penghamparan

Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal yang di perlukan (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 dengann ukuran maksimum 37,5 mm)	120	150 - 200	ya
Lapis fondasi agregat kelas B (gradasi dengann ukuran maksimum 50 mm)	150	150 - 200	ya
Lapis fondasi agregat kelas S (gradasi dengann ukuran maksimum 37,5 mm)	120	125 - 200	ya
	100	150 - 200	tidak

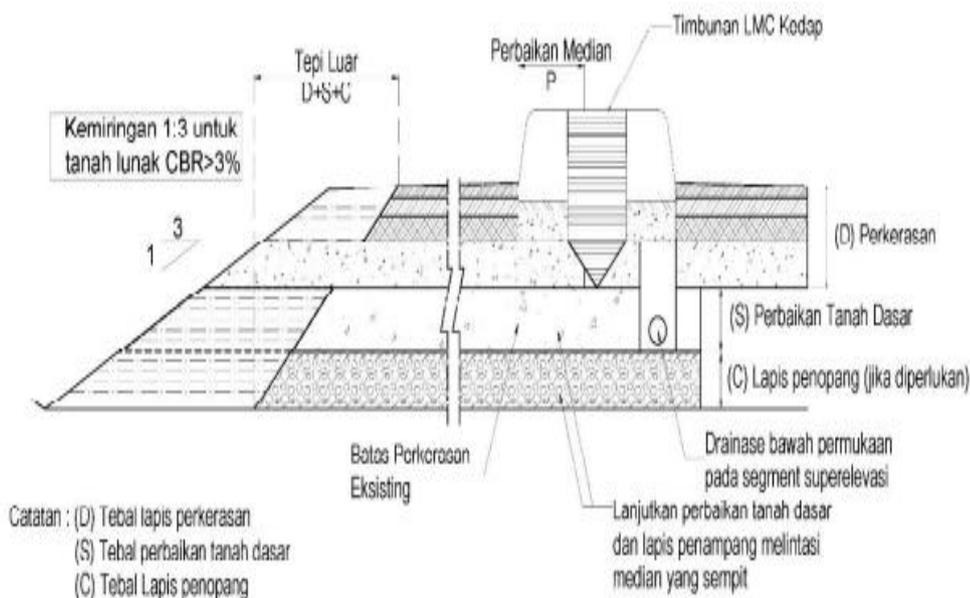
Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal yang di perlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC			
Stabilisasi tanah atau kerikil slam	100	150 - 200	tidak
Kerikil alam	100	100 - 200	Ya

Sumber : Manual Perkerasan Jalan Nomor : 04/SE/Db/2017

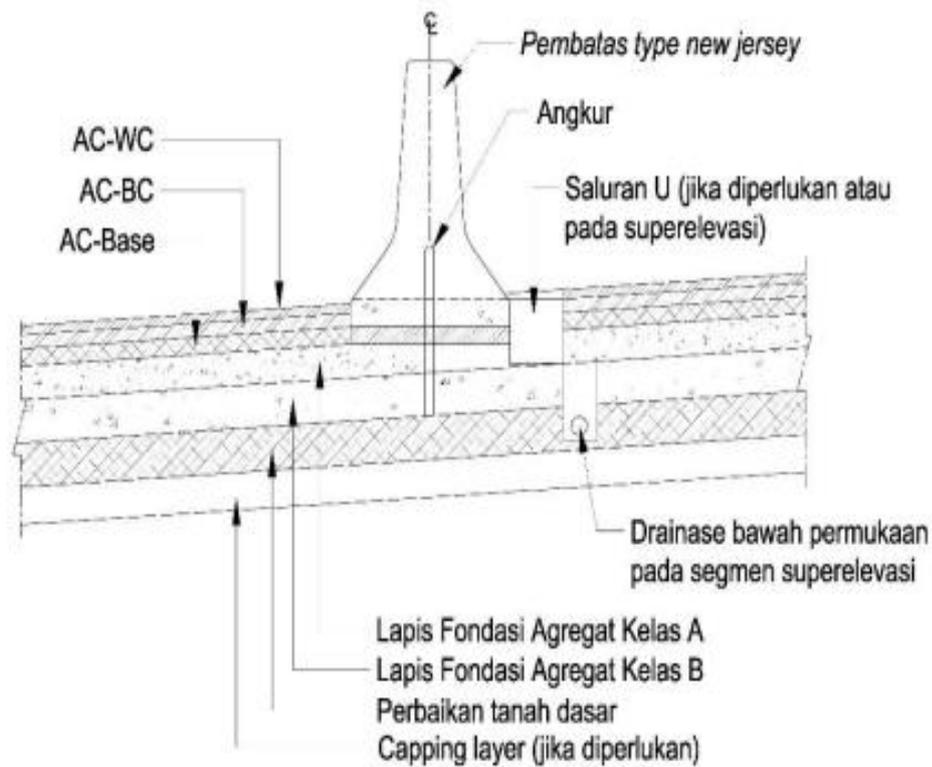
2.9.12. Daya Dukung Tepi Perkerasan

Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut. Ketentuan daya dukung tepi harus dinyatakan secara detil dalam gambar-gambar kontrak (*drawings*). Ketentuan minimum adalah:

- Setiap lapis pekerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum yang dinyatakan pada Gambar 2.36. Dukungan Tepi Perkerasan.
- Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($CBR < 2.5\%$) atau tanah gambut harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H



Gambar 2. 42 Dukungan tepi perkerasan



Gambar 2. 43 Dukungan median perkerasan

Lapis penopang dan perbaikan tanah dasar harus diperlebar sampai ke bawah median seperti ditunjukkan pada Gambar 2.43. Dukungan Median Perkerasan. Area median harus dapat mengalirkan air dengan baik atau diisi dengan *lean mix concrete* atau dengan bahan pengisi yang kedap untuk menghindari pengumpulan air dan kerusakan tepi perkerasan.

2.9.13. Pelapisan Bahu Jalan

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

a. 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.

b. 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.

c. Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut :

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

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.

d. 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.

2.9.14. Kapasitas Jalan

Penentuan kapasitas jalan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

dimana

C = Kapasitas

C_0 = Kapasitas dasar (Tabel 2.52)

FC_w = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (Tabel 2.53)

FC_{SP} = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (Tabel 2.54)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian gesekan samping (Tabel 2.56)

Tabel 2. 52 Kapasitas dasar jalan antar kota dengan 4 lajur 2 arah (4/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan (empat lajur tak terbagi)	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Datar	1700
Bukit	1650
Gunung	1600

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 53 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

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W _c) (m)	FC _w
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,00	1,21
	11,00	1,27

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 54 Faktor penyesuaian kapasitas karena pemisahan arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{SP}	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 : MDP 2017

Tabel 2. 55 Kelas hambatan samping

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

Sumber : MDP 2017

Tabel 2. 56 Faktor penyesuaian kapasitas akibat pengaruh hambatan samping (FC_{SF})

Jenis jalan	Kelas hambatan	Faktor penyesuaian akibat pengaruh gesekan samping (FCSF)			
		≤ 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 : MDP 2017

2.10. Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Metode Analisa Komponen

2.10.1. Lalu Lintas

1. Jumlah Jalur dan koefisien distribusi kendaraan (C)

Jika jalan tidak mempunyai tanda bataas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut daftar di bawah ini:

Tabel 2. 57 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 jalur
$8,25 \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 jalur

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
18,75 m ≤ L < 22,00 m	6 lajur

Sumber: (SKBI 2.3.26.1987)

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut daftar dibawah ini:

Tabel 2. 58 Koefisien Distribusi Kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,500
3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,450
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,400

Sumber: (SKBI 2.3.26.1987)

*) berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, pick up, mobil hantaran

***) berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, semi trailer, trailer.

2. Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Angka ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar dibawah ini:

Tabel 2. 59 Angka Ekuivalen (E) 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

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Sumber: (SKBI 2.3.26.1987)

3. Lalu lintas harian rata – rata dan rumus – rumus lintas ekuivalen
 - a. Lalu lintas harian rata – rata (LHR)

Lalu lintas harian rata-rata (LHR) setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median.

Lalu lintas harian rata – rata permulaan (LHR):

$$LHR_p = LHR_s \times (1 + i_1)^n \dots \dots \dots (2. 86)$$

Lalu lintas harian rata – rata akhir (LHRA)

$$LHR_A = LHR_p \times (1 + i_2)^n \dots \dots \dots (2. 87)$$

Rumus – rumus lintas ekuivalen:

1. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)

$$LEP = \sum_{j=mp}^n (LHR_{PJ}) \times C \times E \dots \dots \dots (2. 88)$$

2. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA)

$$LEA = \sum_{j=mp}^n (LHR_{PJ}) \times C \times E \dots \dots \dots (2. 89)$$

Lintas Ekuivalen Tengah (LET)

$$LET = \frac{LEP+LEA}{2} = \dots \dots \dots (2. 90)$$

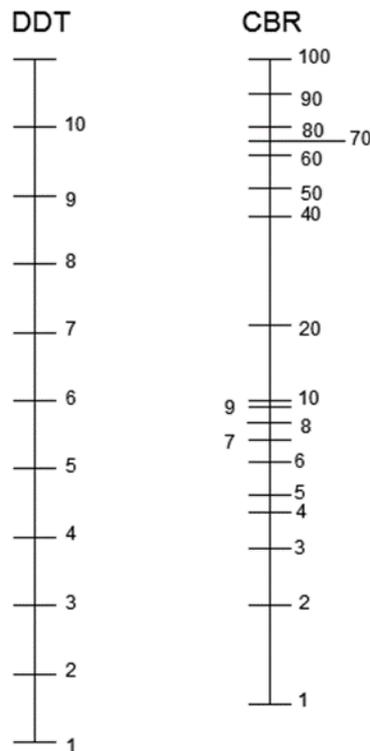
3. Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

$$LER = LET \times F_p \dots \dots \dots (2. 91)$$

2.10.2. Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR

Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi DDT dan CBR. CBR diperoleh dari hasil pemeriksaan contoh tanah yang telah

disiapkan dilaboratorium atau langsung dilapangan, nilai CBR yang digunakan disebut CBR rencana atau CBR desain.



(Sumber : SKBI 2.3.26.1987)

Gambar 2. 44 Korelasi DDT dan CBR

Catatan: Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar sebelah kiri diperoleh nilai DDT.

2.10.3. Faktor Regional

Faktor regional bisa juga disebut faktor koreksi sehubungan dengan perbedaan kondisi tertentu. Kondisi-kondisi yang dimaksud antara lain keadaan lapangan dan iklim yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan daya dukung tanah dan perkerasan. Dengan demikian dalam penentuan tebal perkerasan ini Faktor Regional hanya dipengaruhi bentuk alinemen (Kelandaian dan Tikungan).

Tabel 2. 60 Faktor Regional (FR)

Curah Hujan	Kelayakan I ($< 6\%$)		Kelayakan I ($6 - 10\%$)		Kelayakan II ($> 10\%$)	
	% Kelayakan Berat		% Kelayakan Berat		% Kelayakan Berat	
	$\leq 30\%$	$> 30\%$	$\leq 30\%$	$> 30\%$	$\leq 30\%$	$> 30\%$
Iklim I < 900 mm/tahun	0,5	1,0 – 1,5	1	1,5 – 2,0	1,5	2,0 – 2,5
Iklim 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

2.10.4. 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 sebagai berikut:

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

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

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

Tabel 2. 61 Indeks Permukaan pada Akhir Umur Rencana (IP)

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

Sumber: SKBI 2.3.26.1987

*) LER dalam satuan angka ekuivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

Dalam menentukan indeks permukaan pada awal umur rencana (IPO) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan / kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana menurut daftar di bawah ini:

Tabel 2. 62 Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (Ip0)

Jenis Permukaan	IPo	Roughness *) (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 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
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	$\leq 2,4$	

Sumber: SKBI 2.3.26.1987

2.10.5. Koefisien Kekuatan Relatif

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

Tabel 2. 63 Koefisien Kekuatan Relative

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
A1	A2	A3	MS (Kg)	Kt (Kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,35	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	lasbutag
0,35	-	-	744	-	-	
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	Aspal

Koefesien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
A1	A2	A3	MS (Kg)	Kt (Kg/cm)	CBR (%)	
						macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,13	-	-	18	-	Stab. Tanah dengan kapur
-	0,14	-	-	-	100	Batu pecah (Kelas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu pecah (Kelas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu pecah (Kelas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber: SKBI 2.3.26.1987

2.10.6. Batas – Batas Minimum Tebal Perkerasan

1. Lapis Permukaan

Tabel 2. 64 Lapis 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
≥ 10,00	10	Laston

Sumber: SKBI 2.3.26.1987

2. Lapis Pondasi Atas

Tabel 2. 65 Lapis Pondasi Atas

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
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapan, Laston atas
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapan, Laston atas

Sumber: SKBI 2.3.26.1987

*) batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

3. Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm.

2.10.7. Analisis Komponen Perkerasan

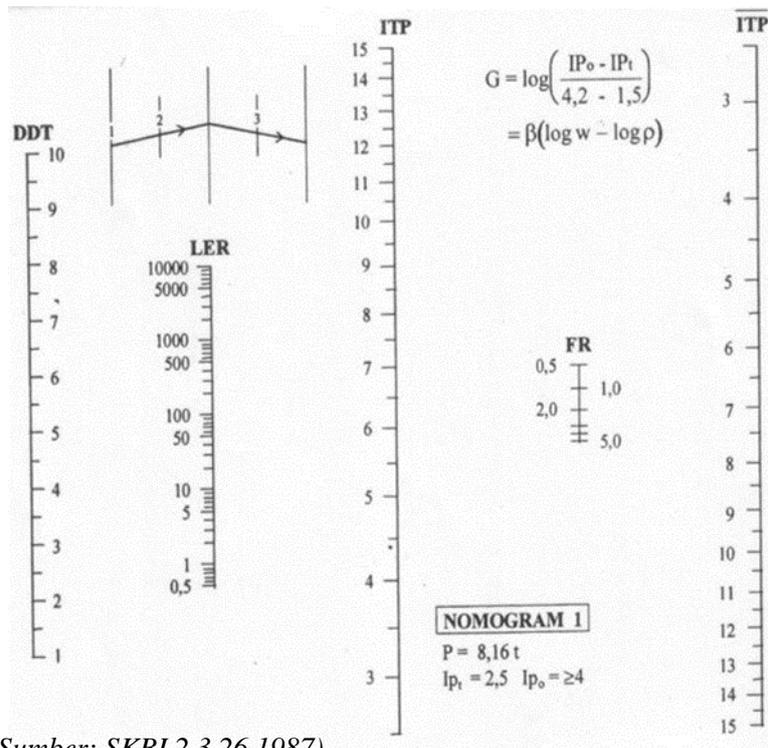
Penghitungan ini didistribusikan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan jangka tertentu (umur rencana) dimana penentuan tebal perkerasan dinyatakan oleh Indeks Tebal Perkerasan (ITP).

Rumus:

$$ITP = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 \dots \dots \dots (2. 92)$$

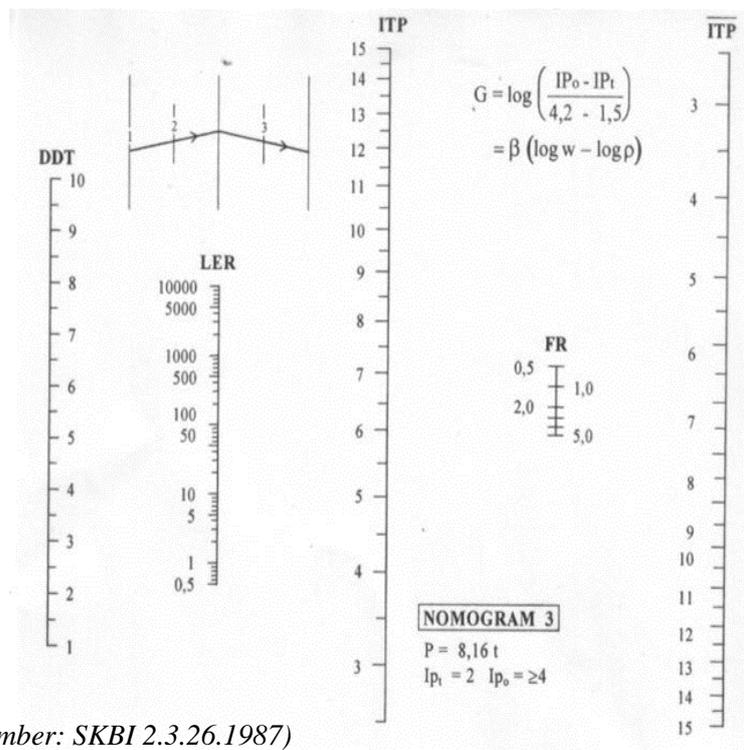
D1, D2, D3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

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



(Sumber: SKBI 2.3.26.1987)

Gambar 2. 45 Nomogram 1 untuk $I_{p_t} = 2,5$ dan $I_{p_o} = > 4$



(Sumber: SKBI 2.3.26.1987)

Gambar 2. 46 Nomogram 3 untuk $I_{p_t} = 2$ dan $I_{p_o} = > 4$

2.11. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya 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 (Gufon, A., 2018)

2.11.1. 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.

2.11.2. Harga Satuan Dasar 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 2.66.

Tabel 2. 66 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

No	Tenaga Kerja	Kode
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

2.11.3. 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.

2.11.4. 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.

2.11.4.1. 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.

2.11.4.2. 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,

$$CT = LT + HT + RT + DT + ST \dots\dots\dots (2. 93)$$

Keterangan :

CT = Waktu Siklus

LT = Waktu Muat

HT = Waktu Angkut

RT = Waktu Kembali

DT = Waktu Pembongkaran

ST = Waktu Tunggu

a. Bulldozer

Dozer merupakan traktor yang dipasangkan pisau atau *blade* di bagian depannya. Produktivitas dozer sangat tergantung pada ukuran *blade*, perhitungan produktivitas ditentukan dari volume tanah yang dipindahkan dalam 1 siklus dan jumlah siklus dalam 1 jam pengoprasian.

Rumus dari kapasitas blade (dalam 1 cm) :

$$V_1 = \frac{WHL}{2} \dots\dots\dots (2. 94)$$

Nilai W = 1,5-1,67 (dalam meter) untuk sudut antara 30 – 33°.

Rumus waktu siklus *bulldozer* :

$$CT = FT + HT + RT \dots\dots\dots (2. 95)$$

Rumus produktivitas maksimum *bulldozer* :

$$Prod = V_1 \times \frac{60}{CT} \times efisiensi \dots\dots\dots (2. 96)$$

b. Motor Grader

Motor grader mempunyai fungsi meratakan dan membentuk permukaan, merawat jalan, mengupas tanah, menyebarkan material ringan. Produktivitas grader dihitung berdasarkan jarak tempuh alat per jam pada proyek jalan .

Rumus waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan jalan :

$$T = [\sum \frac{N \times L_{luas}}{V_{rata-rata}}] \times \frac{1}{efisiensi} \dots\dots\dots (2. 97)$$

Rumus produktivitas :

$$Prod = 1000 vWE \dots\dots\dots (2. 98)$$

c. Loader

Loader adalah alat yang dipakai untuk pekerjaan pemuatan material hasil penggalian ke dalam truk atau membuat timbunan material. Cara menghitung produktivitas adalah dengan menggunakan tabel – tabel waktu.

Tabel 2. 67 Faktor Pemuatan Bucket (*Bucket Fill Factor* BFF)

Material	Faktor
Material seragam atau campuran	0,95 – 1,00
Batu kerikil	0,85 – 0,90
Batuan hasil peledakan (baik)	0,80 – 0,95
Batuan hasil peledakan (rata – rata)	0,75 – 0,90
Batuan hasil peledakan (buruk)	0,60 – 0,75
Batuan berlumpur	1,00 – 1,20
Lanau basah	1,00 – 1,10
Material berbeton	0,85 – 0,95

Sumber : *Construction Equipment Guide, 1991*

Tabel 2. 68 Waktu Muat (menit)

Material	LT
Berbutir seragam	0,03 – 0,05
Berbutiran campuran dan basah	0,03 – 0,06
Lanau basah	0,03 – 0,07

Tanah atau kerikil	0,04 – 0,20
Material berbeton	0,05 – 0,20

Sumber : *Caterpillar Performance Handbook, 1993*

Tabel 2. 69 Waktu Buang (menit)

Pemuatan	DT
Ditumpah di atas tanah	≤ 0,10
Dimuat ke dalam truck	0,04 – 0,07

Sumber : *Caterpillar Performance Handbook, 1993*

Tabel 2. 70 Faktor Penambahan dan Pengurangan untuk CT

Uraian	Faktor
Kondisi tanah :	
Berbutir campuran	+ 0,02
Diameter < 3 mm	+ 0,02
Diameter 3 – 20 mm	- 0,02
Diameter 20 – 150 mm	0
Diameter > 150 mm	+ 0,03
Kondisi tanah asli /lepas	+ 0,04
Timbunan :	
Timbunan dengan tinggi > 3m	0
Timbunan dengan tinggi < 3m	+ 0,01
Pembongkaran dari truck	+ 0,02
Lain – lain :	
Pengoperasian tetap	- 0,04
Pengoperasian tidak tetap	+ 0,04
Target sedikit	+ 0,04
Target beresiko	+ 0,05

Sumber : *Caterpillar Performance Handbook, 1993*

Tabel 2. 71 kapasitas Bucket

Type loader	Heaped capacity m ³ (yd ³)	Struck capacity m ³ (yd ³)
910 F	1,20 (1,60)	1,02 (1,33)
918 F	1,70 (2,25)	1,40 (1,80)
928 F	2,00 (2,60)	1,70 (2,25)
930 T	1,72 (2,25)	1,29 (1,69)

Rumus produktivitas :

$$\text{Prod} = \text{uk.bucket} \times \frac{60}{CT} \times \text{BFF} \times \text{efisiensi} \dots\dots\dots (2. 99)$$

d. Truck

$$\text{Prod} = \text{kapasitas} \times \frac{60}{CT} \times \text{efisiensi} \dots\dots\dots (2. 100)$$

Tabel 2. 72 Kapasitas dan Berat Truck

Tipe Truck	Heaped capacity m³ (yd³)	Struck capacity m³ (yd³)	Berat Kosong kg (lb)	Berat maks. Kg (lb)
769 C	23,6	17,5	31178	67586
	30,9	22,9	68750	149000
773 B	34,1	26,0	39396	92534
	44,6	34,0	86869	204000
777 C	51,3	36,4	60055	146966
	67,1	47,6	132442	324000

e. Excavator backhoe

Backhoe digunakan pada pekerjaan penggalian di bawah permukaan serta untuk penggalian material keras. Waktu siklus backhoe didasarkan pada pemilihan kapasitas bucket.

Rumus produktivitas backhoe adalah :

$$\text{Prod} = V \times \frac{60}{CT} \times S \times \text{BFF} \times \text{efisiensi} \dots\dots\dots (2. 101)$$

Tabel 2. 73 Waktu Siklus Backhoe (menit)

Jenis Material	Ukuran Alat		
	£ 0,76 m ³	0,94 – 1,72 m ³	>1,72 m ³
Kerikil,pasir,tanah organic	0,24	0,30	0,40
Tanah,lempung lunak	0,30	0,375	0,50
Batuan, lempung keras	0,375	0,462	0,60

Sumber : *Construktion Methods and Management, 1998*

Tabel 2. 74 Faktor Koreksi S untuk Kedalaman dan Sudut Putar

Kedalaman penggalian (% dari maks)	Sudut Putar (°)					
	45	60	75	90	120	180
30	1,33	1,26	1,21	1,15	1,08	0,95
50	1,28	1,21	1,16	1,10	1,03	0,91
70	1,16	1,10	1,05	1,00	0,94	0,83
90	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,75

Tabel 2. 75 Faktor Koreksi (BFF) untuk Alat Gali

Material	BFF (%)
Tanah dan tanah organik	80 – 110
Pasir dan kerikil	90 – 100
Lempung keras	65 – 95
Lempung basah	50 – 90
Batuan dengan peledakan buruk	40 – 70
Batuan dengan peledakan baik	70 - 90

Sumber : *Construktio n Methods and Management, 1998*

2.11.4.3. Alat Pemadatan

Material timbunan di suatu lokasi biasanya merupakan material lepas. Material ini secara alami akan menjadi padat karena pengaruh waktu dan cuaca. Pada proyek konstruksi dimana waktu adalah bagian penting dalam pelaksanaannya, maka proses pemadatan dipercepat dengan menggunakan peralatan mekanik.

Jenis alat pemadatan yang umum dipakai diantaranya :

a. Tamping Roller

Tamping Roller adalah alat pemadatan yang berupa *sheep's foot roller*. Metode pemadatan yang digunakan adalah peremasan. Tamping roller digunakan untuk jenis tanah lempung berpasir dengan kedalaman efektif pemadatan sekitar 15 – 25 cm. dalam pengoperasiannya, setiap pemadatan dilakukan secara overlap kurang lebih 30 cm.

b. Modified Tamping Roller

Disebut juga sebagai *grid roller*. Jika tanah mengandung batuan, grid roller yang diberi pemberat dapat membantu alat untuk memecahkan batuan sehingga permukaan tanah relatif lebih rata. Biasanya digunakan pada tanah kohesif (tidak untuk pasir dan lempung lunak).

c. Smooth – Wheel Roller

Jenis pemadatan tipe ini memakai metode berat statis dan dibagi berdasarkan tipe dan beratnya. Smooth – Wheel Roller sangat baik

digunakan untuk memadatkan material berbutir seperti pasir, kerikil, dan batuan pecah. Kedalaman efektif lapisan yang di padatkan dengan alat ini sekitar 10 – 20 cm.

d. Pneumatic – tired Roller

Proses pemadatan alat ini menggunakan gabungan antara metode *kneading action* dan *static weight*. Untuk pekerjaan pemadatan tanah dengan alat ini memerlukan 4 sampai 8 pass. Sedangkan untuk pemadatan jalan dilakukan dengan 4 sampai 6 pass. Kecepatan pemadatan yang paling baik adalah 20 kpj.

e. Vibrating Compactor

Jenis material seperti pasir, kerikil, dan batuan pecah dapat dipadatkan dengan lebih baik karenan alat ini memberikan tekanan dan getaran terhadap material dibawahnya. Alat ini mampu untuk memadatkan lapisan berkisar pada kedalaman 7,5 – 15 cm.

f. Manually Operated Vibratory Plate Compactor

Alat ini digunakan sebagai pemadat tanah dan lapisan aspal dimana alat yang besar tidak dapat atau kurang efektif untuk digunakan.

g. Manually Operated Rammer Compactor

Alat ini baik digunakan untuk memadatkan tanah yang kohesif dan tanah campuran.

Untuk mendapatkan produktifitas yang efektif, ketebalan lapisan yang akan dipadatkan janganlah terlalu besar. Untuk semua roller kecuali vibratory dan pneumatic roller yang besar, ketebalan pemadatan yang disarankan 15 – 20 cm. untuk pneumatic roller ketebalan pemadatan 30 cm sedangkan vibratory roller ketebalan tergantung pada jenis tanah dan alat berat. Untuk tanah berbutir ketebalan yang efektif 20 – 122 cm sedangkan untuk batuan ketebalan bisa mencapai 2,1 m.

Rumus produktifitas alat pemadat :

$$\text{Prod} = \frac{10 \times W \times S \times L \times E}{P} \dots\dots\dots (2. 102)$$

Keterangan :

P = Jumlah pass (ccm/jam)

W = Lebar pemadatan per pass (m)

S = Kecepatan pemadatan (km/jam)

L = Ketebalan lapisan akhir yang diinginkan (cm)

2.11.4.4. Alat Pengerasan Aspal

Pengerasan aspal terdiri dari aspal dan agregat. Agregat yang dipakai dalam campuran aspal terdiri dari agregat kasar, halus dan filler.

Selain truk yang digunakan untuk mengangkut aspal, dalam pelaksanaan pembangunan pengerasan lentur digunakan alat sebagai berikut :

a. Distributor aspal

Fungsinya untuk menghamparkan aspal cair ke atas permukaan pondasi jalan dengan kecepatan yang sama.

Rumus kecepatan distributor aspal :

$$S = \frac{P}{W \times R}$$

Keterangan :

S = Kecepatan distributor aspal (m/menit)

P = Keluaran aspal dari pompa (liter/menit)

W = Lebar alat penyemprot (m)

R = Kecepatan penghamparan (liter/m²)

b. Asphalt paver

Berfungsi untuk menghamparkan campuran aspal diatas permukaan pondasi jalan.

c. Compactor

Pemadatan dilakukan beberapa tahap. Tahap pertama dilakukan pada permukaan lapisan aspal untuk meningkatkan densitas lapisan. Tahap akhir berfungsi untuk meratakan dan melicinkan permukaan.

2.11.5. 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.

2.11.6. 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.

ITEM PEMBAYARAN

NO. : 6.3(5a)
JENIS PEKERJAAN : Laston Lapis Aus (AC-WC)
SATUAN
PEMBAYARAN : Ton

Analisa EI-635a

URAIAN ANALISA HARGA SATUAN

No.	URAIAN	KODE	KOEF.	SATUAN	KETERANGAN
I.	ASUMSI				
1	Menggunakan alat berat (cara mekanik)				
2	Lokasi pekerjaan : sepanjang jalan				
3	Kondisi existing jalan : sedang				
4	Jarak rata-rata Base Camp ke lokasi pekerjaan	L	18.00	KM	
5	Tebal Lapis (AC-WC) padat	t	0.04	M	Tabel 6.3.11
6	Jam kerja efektif per-hari	Tk	7.00	Jam	
7	Faktor kehilanganmaterial :				
	- Agregat	Fh1	1.05	-	
	- Aspal	Fh2	1.03	-	

8	Berat isi Agregat (padat)	Bip	1.45	ton/m ³	
9	Berat Isi Agregat (lepas)	Bil	1.32	ton/m ³	
10	Komposisi campuran AC-WC :				
	- Agr Pch Mesin 5 - 10 & 10 - 15 mm	5-10&10-15	40.30	%	Gradasi harus - memenuhi - Spesifikasi
	- Agregat Pecah Mesin 0 - 5 mm	0-5	52.71	%	
	- Semen	FF	0.94	%	
	- Asphalt	As	6.05	%	
	- Anti Stripping Agent	Asa	0.30	%As	
11	Berat isi bahan :				
	- AC-WC	D1	2.25	ton / M ³	
	- Agr Pch Mesin 5 - 10 & 10 - 15 mm	D2	1.32	ton / M ³	
	- Agr Pch Mesin 0 - 5 mm	D3	1.32	ton / M ³	
12	Jarak Stock pile ke Cold Bin	1	0.05	km	
II. URUTAN KERJA					
1	Wheel Loader memuat Agregat ke dalam Cold Bin AMP.				
2	Agregat, aspal, dan bahan anti pengelupasan dicampur dan dipanaskan dengan AMP untuk dimuat langsung kedalam Dump Truck dan diangkut				

ke lokasi pekerjaan.

3 Campuran panas AC dihampar dengan Finisher dan dipadatkan dengan Tandem (awal dan akhir) & Pneumatic Tire Roller (antara).

4 Selama pemadatan, sekelompok pekerja akan merapikan tepi hamparan dengan menggunakan Alat Bantu.

III. PEMAKAIAN BAHAN, ALAT DAN TENAGA

1. BAHAN

Agr 5-10 & 10-

- 1.a. **15** = ("5-10&10-15" x Fh1) : D2
 1.b. **Agr 0-5** = ("0-5" x Fh1) : D3
 1.c. **Semen** = (FF x Fh2) x 1000
 1.d. **Aspal** = (As x Fh2) x 1000

(M92)	0.3206	M3
(M91)	0.4193	M3
(M12)	9.6820	Kg
(M10)	62.3150	Kg

2. ALAT

2.a. WHEEL LOADER

- Kapasitas bucket
 Faktor bucket
 Faktor efisiensi alat
 Waktu Siklus T1 + T2 + T3
 - Kecepatan maju rata rata
 - Kecepatan kembali rata rata

(E15)		
V	1.50	M3
Fb	0.80	-
Fa	0.70	-
Ts1		
Vf	5.00	km/jam
Vr	10.00	km/jam

- Muat ke Bin		T1	0.60	menit
=	$(l \times 60) / V_f$	T2	0.30	menit
- Kembali ke Stock pile	$= (l \times 60) / V_r$	T3	1.80	menit
- Lain - lain (waktu pasti)		Ts1	2.70	menit
 Kap. Prod. / jam		 Q1	 24.64	 ton
=	$\frac{V \times F_b \times F_a \times 60 \times B_i l}{T_{s1}}$			
 Koefisien		 (E15)	 0.0406	 Jam
Alat/ton	$= 1 : Q1$			

*Berlanjut ke hal.
berikut.*

ITEM

PEMBAYARAN NO. : 6.3(5a)

JENIS PEKERJAAN : Laston Lapis Aus (AC-WC)

SATUAN

PEMBAYARAN : Ton

0

URAIAN ANALISA HARGA SATUAN
Lanjutan

No.	URAIAN	KODE	KOEf.	SATUAN	KETERANGAN
2.b.	<u>ASPHALT MIXING PLANT (AMP)</u>	(E01)			
	Kapasitas produksi	V	60.00	ton / Jam	
	Faktor Efisiensi alat	Fa	0.70	-	
	Kap.Prod. / jam = V x Fa	Q2	42.00	ton	
	Koefisien Alat/ton = 1 : Q2	(E01)	0.0238	Jam	
2.11.7. <u>GENERATORSET (GENSET</u>					
2.c.) Kap.Prod. / Jam = SAMA DENGAN AMP	(E12)			
	Koefisien Alat/ton = 1 : Q3	(E12)	0.0238	Jam	
2.d.	<u>DUMP TRUCK (DT)</u>	(E08)			

Kapasitas bak
 Faktor Efisiensi alat
 Kecepatan rata-rata bermuatan
 Kecepatan rata-rata kosong
 Kapasitas AMP / batch
 Waktu menyiapkan 1 batch AC-BC
 Waktu Siklus
 - Mengisi Bak = $(V : Q2b) \times Tb$
 - Angkut = $(L : v1) \times 60$ menit
 - Tunggu + dump + Putar
 - Kembali = $(L : v2) \times 60$ menit

$$\text{Kap.Prod. / jam} = \frac{V \times Fa \times 60 \times D1}{Ts2}$$

Koefisien
Alat/ton = 1 : Q4

2.e. ASPHALT
FINISHER

Kecepatan menghampar
 Faktor efisiensi alat
 Lebar hamparan
 Kap.Prod. /
 jam = $V \times b \times 60 \times Fa \times t \times D1$

V	3.50	M3
Fa	0.70	-
v1	25.00	KM / Jam
v2	35.00	KM / Jam
Q2b	1.00	ton
Tb	1.20	Menit
Ts2		
T1	4.20	menit
T2	43.20	menit
T3	40.00	menit
T4	30.86	menit
Ts2	118.26	menit
Q4	2.80	ton
(E09)	0.3575	Jam
(E02)		
V	3.00	m/menit
Fa	0.70	-
b	2.09	meter
Q5	23.70	ton

Koefisien
Alat/ton = 1 : Q5

2.f. TANDEM ROLLER (8-10 TON)

Kecepatan rata-rata alat
 Lebar efektif pemadatan
 Jumlah lintasan
 Lajur lintasan = $w / (b - bo)$
 Faktor Efisiensi alat
 Lebar Overlap
 Apabila $N \leq 1$
 Kap. Prod. / jam =
$$\frac{(v \times 1000) \times b \times t \times Fa \times D1}{n}$$

 Apabila $N > 1$
 Kap. Prod. / jam =
$$\frac{(v \times 1000) \times (N(b - bo) + bo) \times t \times Fa \times D1}{n \times N}$$

Koefisien
Alat/ton = 1 : Q6

2.g. PNEUMATIC TIRE ROLLER

Kecepatan rata-rata
 Lebar efektif pemadatan
 Jumlah lintasan
 Lajur lintasan
 Lebar Overlap

(E02) **0.0422** Jam

(E17a)

v	4.00	Km / Jam
b	1.20	M
n	6.00	lintasan
N	3.00	
Fa	0.70	-
bo	0.20	M

Q6 0.0000 ton

44.80

(E17a) **0.0223** Jam

(E18)

v	10.00	KM / jam
b	2.09	M
n	14.00	lintasan
N	2.00	
bo	0.20	M

Faktor Efisiensi alat	Fa	0.70	-
Kap.Prod./jam = $\frac{(v \times 1000) \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa \times D1}{n \times N}$	Q7	89.55	ton
Koefisien Alat/ton = 1 : Q7	(E18)	0.0112	Jam

*Berlanjut ke hal.
berikut.*

Sumber ; Analis Spesifikasi Teknis 2018

ITEM PEMBAYARAN

NO. : 6.3(5a)
 JENIS PEKERJAAN : Laston Lapis Aus (AC-WC)
 SATUAN
 PEMBAYARAN : Ton

0

URAIAN ANALISA HARGA SATUAN
Lanjutan

No.	URAIAN	KODE	KOEF.	SATUAN	KETERANGAN
2.h.	<u>ALAT BANTU</u> - Rambu - Kereta dorong - Sekop - Garpu - Tongkat Kontrol ketebalan hanparan				Lump Sum
3.	TENAGA Produksi menentukan : A M P Produksi AC-WC / hari = Tk x Q2 Kebutuhan tenaga : - Pekerja - Mandor	Q2 Qt P M	42.00 294.00 10.00 1.00	ton / Jam ton orang orang	
	Koefisien Tenaga / ton : - Pekerja = (Tk x P) / Qt - Mandor = (Tk x M) / Qt	(L01) (L03)	0.2381 0.0238	Jam Jam	

4. HARGA DASAR SATUAN UPAH, BAHAN DAN ALAT
Lihat lampiran.

5. ANALISA HARGA SATUAN PEKERJAAN
Lihat perhitungan dalam FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA
SATUAN.

Didapat Harga Satuan Pekerjaan :

Rp. 1,309,878.93 / ton

6. WAKTU PELAKSANAAN YANG DIPERLUKAN

Masa Pelaksanaan

: bulan

7. VOLUME PEKERJAAN YANG DIPERLUKAN

Volume pekerjaan

: 0.00 ton

Sumber ; Analis Spesifikasi Teknis 2018

**FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN**

PROYEK :
No. PAKET :
KONTRAK :
NAMA PAKET :

PROP / KAB /
KODYA : Jawa Barat / Tasikmalaya
ITEM
PEMBAYARAN NO. : 6.3(5a)
JENIS PEKERJAAN : Laston Lapis Aus (AC-WC)
SATUAN
PEMBAYARAN : Ton

PERKIRAAN VOL. PEK.
TOTAL HARGA (Rp.)

% THD. BIAYA PROYEK

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)

A.	<u>TENAGA</u>					
1.	Pekerja	(L01)	Jam	0.2381	14,616.77	3,480.18
2.	Mandor	(L03)	Jam	0.0238	17,797.62	423.75
JUMLAH HARGA TENAGA						3,903.94
B.	<u>BAHAN</u>					
1.	Agr Pch Mesin 5-10 & 10-15	(M92)	M3	0.3206	176,138.39	56,464.36
2.	Agr Pch Mesin 0 - 5	(M91)	M3	0.4193	201,707.58	84,572.78
3.	Semen	(M12)	Kg	9.6820	1,120.00	10,843.84
4.	Aspal	(M10)	Kg	62.3150	10,700.00	666,770.50
JUMLAH HARGA BAHAN						818,651.48
C.	<u>PERALATAN</u>					
1.	Wheel Loader	E15	Jam	0.0406	612,810.66	24,870.56
2.	AMP	E01	Jam	0.0238	7,002,145.81	166,717.76
3.	Genset	E12	Jam	0.0238	277,509.92	6,607.38
4.	Dump Truck	E08	Jam	0.3575	362,260.80	129,523.59
5.	Asp. Finisher	E02	Jam	0.0422	275,590.15	11,627.98

6.	Tandem Roller	E17a	Jam	0.0223	408,511.89	9,118.57
7	P. Tyre Roller	E18	Jam	0.0112	427,849.23	4,777.77
8	Alat Bantu		Ls	1.0000	15,000.00	15,000.00
JUMLAH HARGA PERALATAN						368,243.61
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					1,190,799.03
E.	OVERHEAD & PROFIT			10.0 % x D		119,079.90
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					1,309,878.93

Note:

- 1 Satuan dapat berdasarkan atas jam operasi untuk Tenaga Kerja dan Peralatan, volume dan/atau ukuran berat untuk bahan-bahan.
- 2 Kuantitas satuan adalah kuantitas perkiraan setiap komponen untuk menyelesaikan satu satuan pekerjaan dari nomor mata pembayaran. Harga Satuan yang disampaikan Penyedia Jasa tidak dapat diubah kecuali terdapat Penyesuaian Harga (Eskalasi/Deskalisasi) sesuai ketentuan dalam Instruksi Kepada Peserta Lelang
- 3 Biaya satuan untuk peralatan sudah termasuk bahan bakar, bahan habis dipakai dan operator.
- 4 Biaya satuan sudah termasuk pengeluaran untuk seluruh pajak yang berkaitan (tetapi tidak termasuk PPN yang dibayar dari kontrak) dan biaya-biaya lainnya.

Sumber ; Analis Spesifikasi Teknis 2018