

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Studi pustaka adalah suatu pembahasan yang berdasarkan pada buku-buku referensi yang bertujuan untuk memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk menggunakan rumus-rumus tertentu dalam menganalisa dan mendesain suatu struktur.

Studi pustaka digunakan untuk memecahkan masalah yang ada, baik untuk menganalisa faktor-faktor dan data pendukung maupun untuk merencanakan konstruksi, maka pada bagian ini kami menguraikan secara global pemakaian rumus-rumus dan persamaan yang akan digunakan untuk memecahkan masalah yang ada.

Untuk memberikan gambaran terhadap proses perencanaan, maka diuraikan studi pustaka sebagai berikut :

1. Aspek tanah dasar
2. Aspek lalu lintas
3. Aspek geometrik jalan
4. Aspek struktur perkerasan
5. Aspek sistem drainase

2.2 ASPEK TANAH DASAR

Dalam mendesain suatu jalan baru ataupun peningkatan ruas jalan, perlu dilakukan identifikasi tanah dasar agar diketahui jenis dan karakteristik dari tanah tersebut. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan penyelesaian masalah tanah dasar bagi konstruksi jalan yang akan direncanakan. Khususnya pada konstruksi jalan yang berada di atas tanah ekspansif.

2.2.1 Klasifikasi Tanah Dasar

Klasifikasi tanah dasar diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik dan sifat dari suatu tanah yang berguna untuk menentukan apakah tanah tersebut sesuai untuk bahan konstruksi. Sehingga apabila tidak sesuai maka dapat diambil langkah-langkah untuk memperbaiki sifat dari tanah tersebut.

Dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan, yaitu :

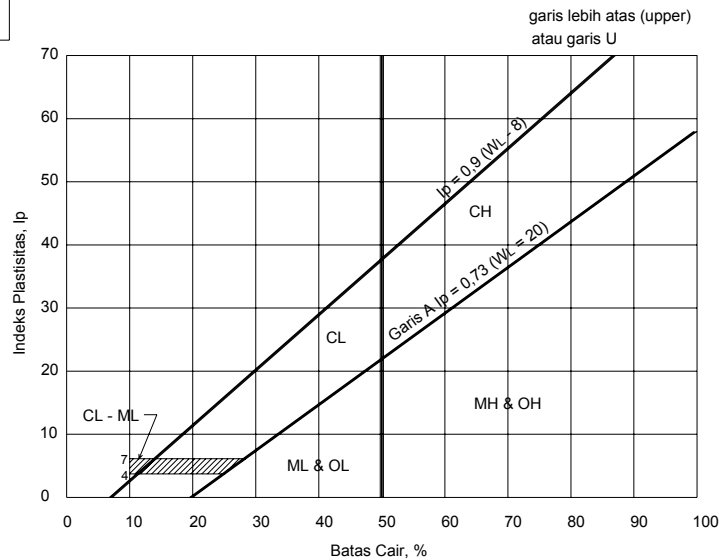
1. Sistem Klasifikasi Tanah Unified [Unified Soil Classification]

Tabel 2.1. Bagan Klasifikasi sistem USC

prosedur-prosedur identifikasi lapangan (tidak termasuk partikel-partikel yang lebih besar dari 75 mm dan berdasarkan fraksi-fraksi atas perkiraan berat)					
<p>TANAH BERBUTIR KASAR lebih dari setengah bahan adalah lebih besar dari ukuran saringan No. 200</p>	<p>PASIR lebih dari setengah fraksi kasar adalah lebih kecil dari ukuran saringan No. 4 (untuk klasifikasi visual, ukuran 6 mm dapat dipergunakan sebagai ekuivalen dari ukuran No. 4)</p>	<p>KERIKIL BERSIH (butir halus yang tidak ada atau sedikit)</p>	kisaran yang luas dalam ukuran butir dan jumlah yang cukup berarti dari semua partikel ukuran antara		
			satu ukuran saja yang banyak terdapat atau suatu kisaran ukuran dimana beberapa ukuran antara tidak terdapat		
		<p>KERIKIL BERBUTIR HALUS (jumlah butir halus yang cukup banyak)</p>	butir halus tidak plastis (untuk prosedur identifikasi lihat ML di bawah)		
			butir halus plastis (untuk prosedur identifikasi lihat CL di bawah)		
		<p>PASIR BERSIH (butir halus yang tidak ada atau sedikit)</p>	kisaran yang luas dalam ukuran butir dan jumlah yang cukup berarti dari semua partikel ukuran antara		
			satu ukuran saja yang banyak terdapat atau suatu kisaran-ukuran dimana beberapa ukuran antara tidak terdapat		
		<p>PASIR BERBUTIR HALUS (jumlah butir halus yang cukup banyak)</p>	butir halus tidak plastis (untuk prosedur identifikasi lihat ML di bawah)		
			butir halus plastis (untuk prosedur identifikasi lihat CL di bawah)		
		<p>TANAH BERBUTIR HALUS lebih dari setengah bahan adalah lebih kecil dari ukuran saringan No. 200 (ukuran saringan No. 200 adalah partikel terkecil yang masih dapat dilihat dengan mata telanjang)</p>	prosedur identifikasi dari fraksi yang lebih kecil dari ukuran saringan No. 40		
			<p>LANAU DAN LEMPUNG batas cair lebih kecil dari 50</p>	kekuatan kering (karakteristik hancur)	pemuaihan (reaksi terhadap guncangan)
tidak ada sampai sedikit	cepat sampai lambat			tidak ada	
sedang sampai tinggi	tidak ada sampai sangat lambat			sedang	
sedikit sampai medium	lambat			sedikit	
<p>LANAU DAN LEMPUNG batas cair lebih besar dari 50</p>	sedikit sampai sedang		lambat sampai tidak ada	sedikit sampai sedang	
	tinggi sampai sangat tinggi		tidak ada	tinggi	
	medium sampai tinggi		tidak ada sampai sangat lambat	sedikit sampai sedang	
TANAH SANGAT ORGANIS			langsung dapat diidentifikasi lewat warna, bau, lembut seperti busa dan tekstur serabut <i>(bersambung)</i>		

simbol kelompok	NAMA	keterangan yang dibutuhkan untuk menerangkan tanah
GW	kerikil bergradasi baik, campuran kerikil-pasir sedikit atau tidak ada butir halus	<p>Berikan nama ; tentukan perkiraan persentase pasir dan kerikil, ukuran maksimum, bersudut atau bundar (angularity), kondisi permukaan, dan kekerasan butir-butir kasar ; nama lokal atau geologi, dan keterangan-keterangan penting lainnya ; dan simbol dalam kurung</p> <p>Untuk tanah tidak terganggu tambahkan keterangan mengenai stratifikasi, derajat kekompakkan, sementasi, kondisi kelembaban, dan karakter-karakter drainase</p> <p>CONTOH : Pasir berlanau ; mengandung kerikil sekitar 20% keras, partikel kerikil bersudut dengan ukuran maks 12 mm, pasir bundar dan agak bersudut (subangular) dari kasar sampai halus ; sekitar 15% butir halus non plastis dengan kekuatan kering yang rendah ; cukup padat, dan lembab di tempat ; pasir aluvial ; (SM)</p>
GP	kerikil bergradasi buruk, campuran kerikil-pasir sedikit atau tidak ada butir halus	
GM	kerikil lanau, campuran kerikil-pasir-lanau bergradasi buruk	
GC	kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung bergradasi buruk	
SW	pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butir halus	
SP	pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butir halus	
SM	pasir berlanau, campuran pasir-lanau bergradasi buruk	
SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung bergradasi buruk	
ML	lanau inorganis dan pasir sangat halus, tepung batuan, pasir halus berlanau, pasir halus berlanau atau berlempung dengan sedikit plastisitas	<p>Berikan nama ; tentukan derajat dan karakter plastisitas, jumlah dan ukuran maksimum butir-butir kasar ; warna, dalam kondisi basah, bau apabila ada, nama lokal atau geologis, dan keterangan-keterangan penting lainnya ; dan simbol dalam tanda kurung</p> <p>Untuk tanah tidak terganggu tambahkan keterangan mengenai struktur stratifikasi, konsistensi dan sudah dibentuk, kondisi kelembaban dan drainase</p> <p>CONTOH : Lanau berlempung, coklat ; agak plastis, persentase kecil dari pasir, banyak lobang-lobang akar yang vertikal, teguh dan kering di tempat ; lus ; (ML)</p>
CL	lempung inorganis dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus	
OL	lanau organis dan lanau-lempung organis dengan plastisitas rendah	
MH	lanau inorganis, tanah berpasir atau berlanau halus mengandung mika atau diatoma, lanau elastis	
CH	lempung inorganis dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
OH	lempung organis dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Pt	gambut (peat), rawang (muck), gambut rawa (peat-bog), dan sebagainya	

kriteria klasifikasi laboratorium		
pergunakan kurva ukuran butir dalam mengidentifikasi fraksi-fraksi yang diberikan pada identifikasi lapangan tentukan persentase dari kerikil dan pasir dari kurva ukuran butir. tergantung pada persentase dari butir halus (fraksi) yang lebih kecil dari saringan ukuran No. 200). tanah berbutir kasar diklasifikasikan sebagai berikut : GW, GP, SW, SP kurang dari 5 % GM, GC, SM, SC lebih dari 12 % kasus di batas antara memerlukan pemakaian simbol ganda 5 % sampai 12 %	$C_v = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ diantara 1 & 3	
	tidak memenuhi semua syarat gradasi untuk GW	
	batas ATTERBERG dibawah garis "A" atau I_p kurang dari 4 batas ATTERBERG dibawah garis "A" atau I_p lebih besar dari 7	di atas garis "A" dengan I_p antara 4 dan 7 merupakan kasus batas antara yang membutuhkan simbol ganda
	$C_v = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ diantara 1 & 3	
	tidak memenuhi semua syarat gradasi untuk SW	
	batas ATTERBERG dibawah garis "A" atau I_p kurang dari 4 batas ATTERBERG dibawah garis "A" atau I_p lebih besar dari 7	di atas garis "A" dengan I_p antara 4 dan 7 merupakan kasus batas antara yang membutuhkan simbol ganda



Gambar. 2.1. Bagan A (bagan plastisitas) dalam sistem USC

Sumber : "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)" Jilid 1, 1988, Braja M. Das"

2. Sistem Klasifikasi Tanah American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem ini diberikan pada tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2. Bagan Klasifikasi sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos)							
No.10	Maks50		Min 51				
No.40	Maks30	Maks50	Maks10				
No.200	Maks15	Maks25	Maks10	Maks35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40							
*Batas cair (LL)	Maks 6		NP	Maks40	Min 41	Maks40	Min 41
*Indeks Plastisitas (PI)				Maks10	Maks10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau – Lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5* A - 7 - 6^
Analisis ayakan (% lolos)				
No.10				
No.40				
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40				
*Batas cair (LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
*Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	sedang sampai buruk			

* untuk A - 7 - 5, $PI \leq LL - 30$

^ untuk A - 7 - 6, $PI > LL - 30$

Sumber : "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)" Jilid 1, 1988, Braja M. Das"

2.2.2 Identifikasi Tanah Ekspansif

Tanah dengan karakter ekspansif ditemukan pada jenis tanah lempung (*clay*). Tanah lempung dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran

partikel, indeks plastisitas, batas cair dan kandungan mineral. ASTM mensyaratkan lebih dari 50% lolos saringan no.200 (0,075mm) dengan indeks plastisitas minimum 35%. Ukuran partikel kandungan mineral yang lazim dijumpai tertera dalam tabel 2.3, pada tanah lempung yang berukuran partikel lebih kecil 0,2 μm unsur yang dominan adalah montmorillonite, beidellite, illite dan feldspar. Beberapa rentang ukuran mineral berdasarkan hasil penelitian soveri (1950) yang dikutip (2000) tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Rentang Ukuran Beberapa Mineral Lempung

Ukuran Partikel (μM)	Unsur Pokok Yang Dominan	Unsur Pokok Yang Biasa	Unsur Pokok Yang Jarang
0.1	Montmorillonite, beidellite	Illite (intermediate)	Illite (traces)
0.1 – 0.2	Illite (intermediate)	Kaolinite, montmorillonite	Illite, quartz (traces)
0.2 – 2.0	Kaolinite	Illite, mica (intermediate), micas, halloysite, quartz	Quartz, montmorillonite, feldspar
2.0 – 11.0	Micas, illite, feldspar	Kaolinite	Halloysite (traces), montmorillonite (traces)

Sumber : Soveri dalam Lashari, 2000.

Tanah ekspansif adalah suatu jenis tanah yang memiliki derajat pengembangan volume yang tinggi sampai sangat tinggi, biasanya ditemukan pada jenis tanah lempung yang sifat fisiknya sangat terpengaruh oleh air. Pada tanah jenis ini apabila terpengaruh oleh air, akan mengalami pengembangan volume disertai gaya tekan akibat pengembangan tersebut. Sebaliknya apabila tanah ini mengalami pengeringan sampai kadar airnya hilang, akan terjadi penyusutan volume disertai retak-retak pada lapisan tanah. Ciri yang mudah diamati secara visual tentang jenis tanah ini adalah permukaan tanah yang tampak kaku/tegang. Potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif dipengaruhi berdasarkan *soil properties* dari tanah tersebut.

Beberapa ahli telah mengidentifikasi pengaruh *soil properties* terhadap potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif tersebut. Holtz dan Kovacs (1981) menunjukkan bahwa *plasticity index* dan *liquid limit* berguna dalam penentuan karakteristik pemuaian tanah lempung. Seed et al. (1964) membuktikan bahwa hanya dengan *plasticity index* saja sudah cukup untuk indikasi tentang karakteristik pemuaian tanah lempung. Oleh Seed et al. (1964) dirumus suatu persamaan untuk menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan (*swell potential*) dengan *plasticity index* sebagai berikut :

$$S = 60 k (PI)^{2,44}$$

Keterangan : S = *Swell Potential*

$$k = 3,6 \times 10^{-5}$$

PI = *Plasticity Index*

Hubungan antara *swelling potential* dengan *plasticity index* ditunjukkan dalam tabel 2.4. di bawah ini :

Tabel 2.4. Hubungan *Swelling Potential* dengan *Plasticity Index*

Swell Potential	PI
Low	0 – 15
Medium	10 – 35
High	20 – 55
Very high	> 35

Sumber : Chen, 1975.

Holtz menyusun suatu identifikasi tentang kriteria tingkat ekspansif suatu tanah kemudian disempurnakan oleh Chen (1975). Tabel identifikasi dari holtz tersebut terdapat dalam tabel 2.5. Altmayer (1955) menyusun identifikasi berdasarkan batas susut, identifikasi tersebut terdapat dalam tabel 2.6.

Tabel 2.5. Data Estimasi Kemungkinan Perubahan Volume Tanah Ekspansif

Data From Index Tests			Probable Expansion, Percent Total Vol Change	Degree Of Expansion
Colloid Content Percent Minus 0.001 Mm	Plasticity Index	Shrinkage Index		
>28	> 35	<11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Medium
> 15	< 18	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz and Gibbs, 1956

Tabel 2.6. Tingkat Ekspansif Tanah Berdasarkan Batas Susut

Linear Shrinkage	Shrinkage Index	Degree Of Expansion
< 5	> 12	Non Critical
5 – 8	10 – 12	Marginal
> 8	< 10	Critical

Sumber : Altmeyer, 1955

2.2.3 Mineralogi Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif yang merupakan tanah lempung adalah aluminium silikat hidrat yang tidak terlalu murni, terbentuk sebagai hasil pelapukan dari batuan beku akibat reaksi kimia, yang mengandung feldspar sebagai salah satu mineral asli (Austin 1985). Proses ini dapat meliputi kristalisasi dari suatu larutan, pelapukan dari mineral silika dan batuan, penyusunan kembali mineral-mineral serta pertukaran ion, dan perubahan beserta pembentukan mineral baru dan batuan karena proses hidrotermal. Proses ini dapat berlanjut bilamana terjadi rekayasa dalam proses buatan di laboratorium atau di lapangan dalam waktu yang lama. Salah satu sifat menonjol dari lempung adalah sifat plastis, rentang keplastisannya sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik lempung dan kandungan ketidakmurniannya yang menjadi sebab timbulnya bermacam-macam jenis lempung (Lashari, 2000).

Bermula dari salah satu proses atau beberapa proses yang berjalan dalam rentang waktu yang bersamaan atau sebagian bersamaan akan terbentuk mineral lempung yang beragam. umumnya terdapat

sekitar 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Hardiyatmo,1992). Diantaranya sekelompok dalam lempung adalah kaolinite, illite, montmorillonite dan kelompok lain chlorite, vermiculite, dan halloysite.

Sejumlah spesies mineral yang disebut mineral lempung, yang mengandung terutama campuran kaolinite (K_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O), masing-masing dalam berbagai kuantitas. Menurut Holtz dan Kovacs (1981), bahwa susunan kebanyakan tanah lempung berupa unit lembar kristal terdiri dari silika tetrahedra dan alumina oktahedra. Lembaran yang berbentuk tetrahedra merupakan kombinasi dari silika tetrahedron yang terdiri dari atom Si yang dikelilingi oleh ion oksigen pada keempat ujung-ujungnya. Sedangkan untuk lembaran yang berbentuk oktahedra merupakan kombinasi dari alumina oktahedron yang terdiri dari atom Al yang dikelilingi oleh hidroksi yang dapat berupa ion aluminium, magnesium, besi dan atom lainnya.

Menurut Lashari (2000), kaolinite tersusun dari satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar alumina oktahedra, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Setiap lapis terdiri dari satu lembar silika tetrahedra dan satu lembar alumina oktahedra.

Montmorillonite yang kadang-kadang disebut smectite dalam satu lapis tersusun dua lembar silika menggapit satu lembar alumina (gibbsite). Ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari ujung oktahedra sehingga menjadikan ikatan menyatu. Karena gaya ikatan yang lemah diantara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif pada ujung oktahedra, maka air dan ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan membuat lapis terpisah, sehingga kristal montmorillonite dapat sangat kecil tetapi dalam waktu sama dapat menarik air dengan kuat. Dari sifat ini, tanah yang mengandung montmorillonite mengalami kembang susut yang besar.

Illite mempunyai bentuk susunan dasar yang hampir sama dengan montmorillonite yaitu terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembar silika tetrahedra, hanya perbedaannya adalah pada ikatan, pada lembaran oktahedra terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra

terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium. Sedangkan lembaran-lembaran terikat bersama oleh ion-ion kalium dengan ikatan lemah yang terdapat diantara lembaran-lembarannya.

Luas permukaan spesifik, mengidentifikasi besarnya kemampuan dalam pertukaran kation tanah ekspansif. Semakin besar luas permukaan spesifik akan memperbanyak terjadinya pertukaran kation. Mineral montmorillonite adalah jenis mineral yang mempunyai luas permukaan spesifik terbesar dengan kapasitas pertukaran kation terbesar dari kelompok mineralnya, disusul berturut-turut mineral illite dan kaolinite. Banyaknya pertukaran kation pada jenis mineral dan luas permukaan spesifik jenis mineral dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7. Rentang Pertukaran Kation dalam Mineral Tanah Ekspansif

Parameter	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
Tebal	(0,5 – 2) Micron	(0,003 – 0,1) Micron	< 9,5 A°
Diameter	(0,5 – 4) Micron	(0,5 – 10) Micron	(0,005 – 10) Micron
Luas Spesific ($\frac{m^2}{g}$)	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Pertukaran Kation (Miliekivalen Per 100 Gr)	3 – 15	10 – 40	70 - 80

Sumber : seed et al., 1964

Skempton (1953) menyatakan suatu analisis aktivitas tanah berdasarkan indeks plastisitas dengan presentasi berat fraksi lempung < 2 μ m. formula aktivitas tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = \frac{PI}{\%Lempung}$$

Keterangan : A

= Aktivitas

PI

= *Plasticity index*

% Lempung

= Persen berat fraksi lempung

Skempton (1953) mengklasifikasikan tanah berdasarkan aktivitasnya. Klasifikasi tersebut adalah tanah aktif dengan nilai aktivitas di atas 1,25, tanah normal dengan nilai aktivitasnya 0,75 – 1,25 dan tanah

tidak aktif dengan nilai aktivitas dibawah 0,75. skempton (1953) juga menyusun hubungan antara mineral yang terkandung didalam tanah, batas-batas Atterberg dan nilai aktivitasnya seperti tercantum dalam tabel 2.8

Tabel 2.8. Karakteristik Mineral Utama Tanah

Mineral	LL (%)	PL (%)	SL (%)	Aktivitas $\left(\frac{PI}{\%Clay}\right)$
Kaolinites	30 – 100	25 – 40	25 – 40	0.38
Illites	60 – 120	35 – 60	35 – 60	0.9
Montmorillonites	100 – 900	50 – 100	50 – 100	7.2

Sumber : Skempton, 1953

2.2.4 Sifat – Sifat Fisik Tanah Ekspansif

❖ Kadar Air (*Moisture Content*)

Jika kadar air/*moisture content* dari suatu tanah ekspansif tidak berubah berarti tidak ada perubahan volume dan struktur yang ada di atas lempung tidak akan terjadi pergerakan yang diakibatkan oleh pengangkatan (*heaving*). Tetapi jika terjadi penambahan kadar air maka terjadi pengembangan volume (*ekspansion*) dengan arah vertical dan horizontal. Menurut Holtz dan Fu Hua Chen (1975) mengemukakan tanah lempung dengan kadar air alami di bawah 15 % biasanya menunjukkan indikasi berbahaya. Lempung akan mudah menyerap sampai kadar air 35 % dan mengakibatkan kerusakan struktur akibat pemuai tanah. Sebaliknya apabila tanah lempung tersebut mempunyai kadar air di atas 30%, itu berarti bahwa pemuai tanah telah terjadi dan pemuai lebih lanjut akan kecil sekali.

❖ Berat Jenis Kering (*Dry Density*)

Berat jenis lempung merupakan indikasi lain dari ekspansi tanah. Tanah dengan berat jenis kering lebih dari 110 pcf (1,762 gr/cm³) menunjukkan potensi pengembangan yang tinggi. Apabila dalam penggalian tanah dijumpai kesulitan yang

menyangkut kondisi tanah yang keras seperti batu, hal itu merupakan indikasi bahwa tanah tersebut mempunyai sifat tanah ekspansif. Berat jenis lempung juga dapat dilihat dari hasil test standart *penetration resistance*-nya. Lempung dengan *penetration resistance* lebih dari 15 biasanya menunjukkan adanya potensi swelling.

❖ Kelelahan pengembangan (*Fatigue of Swelling*)

Gejala kelelahan pengembangan (*Fatigue of Swelling*) telah diselidiki dengan cara penelitian siklus/pengulangan pembasahan dan pengeringan yang berulang. Hasil penelitian menunjukkan pengembangan tanah pada siklus pertama lebih besar daripada siklus berikutnya. Kelelahan pengembangan (*Fatigue of Swelling*) diindikasikan sebagai jawaban yang melengkapi hasil penelitian tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suatu pavement yang ditempatkan pada tanah ekspansif yang mengalami siklus iklim yang menyebabkan terjadinya pengeringan dan pembasahan secara berulang mempunyai tendensi untuk mencapai suatu stabilitas setelah beberapa tahun atau beberapa kali siklus basah-kering.

2.2.5 Penanganan Tanah Ekspansif

Secara ideal penanganan kerusakan jalan pada lapis tanah lempung ekspansif adalah berusaha menjaga/mempertahankan kadar air pada tanah tersebut agar tetap konstan, minimal tidak mengalami perubahan kadar air yang signifikan. Baik kondisi musim penghujan maupun musim kering, sehingga tidak terjadi kembang-susut yang besar. Alternatif penanganan tersebut dapat berupa :

❖ Penggantian material.

Dengan cara pengupasan tanah, yaitu tanah lempung diambil dan diganti dengan tanah yang mempunyai sifat lebih baik.

❖ Pemadatan (*compaction*).

Dengan cara ini, biaya yang dibutuhkan lebih sedikit (ekonomis).

- ❖ Pra pembebanan.
Dengan cara memberi beban terlebih dahulu pada tanah tersebut yang berfungsi untuk mereduksi settlement dan menambah kekuatan geser
- ❖ Drainase.
Dengan cara membuat saluran air di bawah pra pembebanan yang berfungsi untuk mempercepat settlement, dan juga mampu menambah kekuatan geser (*sand blanket* dan *drains*)
- ❖ Stabilisasi.
 - ◆ Stabilisasi Mekanis dengan cara mencampur berbagai jenis tanah yang bertujuan untuk mendapatkan tanah dengan gradasi baik (*well graded*) sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan.
 - ◆ Stabilisasi Kimiawi yaitu stabilisasi tanah dengan cara substitusi ion-ion logam dari tingkat yang lebih tinggi, seperti terlihat pada skala substitusi di bawah ini :

$$\text{Li} < \text{Na} < \text{NH}_4 < \text{K} < \text{Mg} < \text{Rb} < \text{Ca} < \text{Co} < \text{Al}$$
 Sebagai contoh yaitu dengan menambahkan *Stabilizing Agent* pada tanah tersebut, antara lain PC, Hydrated Lime, Bitumen, dll. Sesuai dengan skala diatas. Hal ini bertujuan untuk memperbaiki sifat tanah.
- ❖ Penggunaan Geosynthetics.
Salah satu jenisnya yaitu dengan penggunaan *Geomembrane*, yang oleh orang awam terlihat seperti plastik kedap air. Kemudian di atas lapisan tersebut konstruksi jalan dibuat. Penggunaan *Geomembrane* ini menyebabkan kandungan air di dalam tanah berangsur-angsur stabil.

2.3 ASPEK LALU LINTAS

2.3.1 Klasifikasi Jalan

2.3.1.1 Klasifikasi Menurut Fungsi Jalan

Klasifikasi fungsi jalan seperti yang dijabarkan dalam Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 1985 pasal 4 dan pasal 5 dibagi dalam dua sistem jaringan jalan, yaitu :

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Sistem jaringan jalan primer disusun mengikuti ketentuan pengaturan tata ruang dan struktur pengembangan wilayah tingkat nasional yang menghubungkan antara simpul-simpul jasa distribusi. Dalam sistem ini dibedakan sebagai berikut :

a. Jalan Arteri Primer

Yaitu jalan yang menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kesatu yang berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.

b. Jalan Kolektor Primer

Yaitu jalan yang menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua yang berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga.

c. Jalan Lokal Primer

Yaitu jalan yang menghubungkan kota jenjang ketiga atau kota jenjang ketiga dengan jenjang dibawahnya atau menghubungkan persil dengan kota jenjang diatasnya.

2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder disusun mengikuti ketentuan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua dan seterusnya sampai perumahan.

Dalam sistem ini dibedakan sebagai berikut :

a. Jalan Arteri Sekunder

Yaitu jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu atau antar kawasan sekunder kesatu atau kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.

b. Jalan Kolektor Sekunder

Yaitu jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua atau kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.

c. Jalan Lokal Sekunder

Yaitu jalan yang menghubungkan perumahan dengan kawasan sekunder diatasnya.

2.3.1.2 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST). Dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (MST) (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

2.3.1.3 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Klasifikasi menurut medan jalan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus dengan garis kontur. Klasifikasi menurut medan jalan ini dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Klasifikasi Menurut Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	< 3
2	Perbukitan	B	3 - 25
3	Pegunungan	G	> 25

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

2.3.1.4 Klasifikasi Menurut Wewenang Pembinaan Jalan

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya sesuai dengan PP. No. 26/1985 yaitu terbagi menjadi jalan Nasional, jalan Propinsi, jalan Kabupaten/Kotamadya, jalan Desa dan jalan Khusus.

2.3.2 Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya yang digunakan untuk merencanakan bagian-bagian dari jalan raya. Untuk perencanaan geometrik jalan, ukuran lebar kendaraan rencana akan mempengaruhi lebar lajur yang dibutuhkan. Sifat membelok kendaraan akan mempengaruhi perencanaan tikungan dan lebar median dimana kendaraan diperkenankan untuk memutar. Kemampuan kendaraan akan mempengaruhi tingkat kelandaian yang dipilih, dan tinggi tempat duduk pengemudi akan mempengaruhi jarak pandangan pengemudi.

Kendaraan rencana dikelompokkan menjadi 3 kategori :

1. Kendaraan kecil, diwakili oleh mobil penumpang
2. Kendaraan sedang, diwakili truk 3 as tandem atau bus besar 2 as
3. Kendaraan besar, diwakili oleh semi-trailer

2.3.3 Kecepatan Rencana (V_R)

Kecepatan rencana pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman secara menerus. Kecepatan rencana sesuai dengan klasifikasi fungsi dan klasifikasi medan jalan dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Kecepatan Rencana (V_R)

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 : Standar Perencanaan Geometri Jalan Antar Kota, 1997

2.3.4 Volume Lalu Lintas

2.3.4.1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Lalu lintas harian rata-rata adalah jumlah rata-rata lalu lintas kendaraan bermotor yang dicatat selama 24 jam sehari untuk kedua jurusan. Ada dua jenis LHR yaitu LHR tahunan (LHRT) dan LHR.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{365}$$

$$\text{LHR} = \frac{\text{jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{lamanya pengamatan}}$$

2.3.4.2 Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melintas atau melewati suatu titik disuatu ruas jalan pada interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp). Sedangkan volume lalu lintas rencana (LHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dan dinyatakan dalam smp/hari. Hasil perhitungan besarnya LHR digunakan sebagai dasar perencanaan jalan, observasi tentang segala kecenderungan-kecenderungan dengan evaluasi volume pada masa yang akan datang. Untuk menghitung perkembangan lalu lintas tiap tahun digunakan :

1. Regresi Linier Sederhana

Menurut F. D. Hobbs, regresi linier sederhana adalah :

$$\mathbf{Y = a + bX}$$

Keterangan :

Y = besarnya nilai yang diketahui

a = konstanta

b = koefisien variabel X

X = data sekunder dari periode awal

Sedangkan harga a dan b dapat dicari dari persamaan :

$$\sum X = n.a + \sum X$$

$$\sum XY = a. \sum X + b. \sum X^2$$

2. Metode Eksponensial

Perhitungan pertumbuhan lalu lintas dengan metode eksponensial dihitung berdasarkan LHR_n, LHR_o.

Rumus umum yang digunakan adalah :

$$\text{LHRn} = \text{LHRo} + (1 + i)^n$$

Keterangan : LHRn = lalu lintas harian tahun yang dicari
 LHRo = lalu lintas harian tahun awal perencanaan
 i = laju pertumbuhan lalu lintas
 n = umur rencana

2.3.4.3 Volume Jam Perencanaan (VJP)

Volume jam perencanaan adalah perkiraan volume lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas dan dinyatakan dalam smp/jam.

$$\text{VJP} = \text{LHRT} \times \text{Faktor K}$$

Keterangan :
 LHRT = lalu lintas harian rata-rata tahunan (kend/hari)
 Faktor K = faktor volume lalu lintas pada jam sibuk

2.3.5 Arus dan Komposisi Lalu Lintas

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik pada ruas jalan tertentu persatuan waktu, yang dinyatakan dalam kend/jam (Qkend) atau smp/jam (Qsmp). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) dikonversikan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) yang diturunkan secara empiris untuk berbagai tipe kendaraan. Pembagian tipe kendaraan dijelaskan pada Tabel 2.12. berikut :

Tabel 2.12. Pembagian Tipe Kendaraan

Tipe Kendaraan	Kode	Karakteristik Kendaraan
Kendaraan Ringan	LV	Kendaraan bermotor beroda 4 dengan 2 gandar berjarak 2-3 m (termasuk kendaraan penumpang oplet, mikro bis, pick up dan truk kecil)
Kendaraan Berat Menengah	MHV	Kendaraan bermotor dengan 2 gandar yang berjarak 3,5-5 m (termasuk bis kecil, truk 2 as dengan 6 roda)
Truk Besar	LT	Truk 3 gandar dan truk kombinasi dengan jarak antar gandar < 3,5 m

Tipe Kendaraan	Kode	Karakteristik Kendaraan
Bus Besar	LB	Bus dengan 2 atau 3 gandar dengan jarak antar gandar 5-6 m
Sepeda Motor	MC	Sepeda motor dengan 2 atau 3 roda (meliputi sepeda motor dan kendaraan roda 3)
Kendaraan Tak Bermotor	UM	Kendaraan bertenaga manusia atau hewan di atas roda (meliputi sepeda, becak, kereta kuda dan kereta dorong)

Sumber : MKJI th 1997

2.3.6 Nilai Konversi Kendaraan

Perhitungan nilai LHR dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang lewat berdasarkan jenis dan nilai konversi kendaraan. Dalam menentukan smp dibedakan menjadi 5 yaitu :

1. Kendaraan Ringan (LV), misal : mikrobus, pick - up, mobil penumpang.
2. Kendaraan Berat Menengah (MHV), misal : truk 2 gandar dan bus kecil.
3. Bus Besar (LB).
4. Truk Besar (LT), misal : truk 3 gandar dan truk gandeng.
5. Sepeda Motor (MC).

Nilai konversi jenis kendaraan terhadap Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP) berdasarkan MKJI th 1997 dapat dilihat pada Tabel 2.13. sampai dengan Tabel 2.16.

Tabel 2.13. Nilai EMP Jalan Dua Lajur – Dua Arah Tak Terbagi (2/2 UD)

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)	EMP					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Jalur Lalu Lintas (m)		
< 6	6 - 8	> 8					
Datar	0	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	≥ 1900	1,3	1,5	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0	1,8	1,6	5,2	0,7	0,5	0,3
	650	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	≥ 1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0	3,5	2,5	6,5	0,6	0,4	0,2
	450	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)	EMP					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar Jalur Lalu Lintas (m)		
					< 6	6 - 8	> 8
900	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3	
≥ 1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3	

Sumber : MKJI th 1997

Tabel 2.14. Nilai EMP Jalan Empat Lajur – Dua Arah (4/2) Terbagi dan Tak Terbagi

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)		EMP			
	Jalan terbagi per-arah (kend/jam)	Jalan terbagi total (kend/jam)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000	1700	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800	3250	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2150	≥ 3950	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	750	1350	2,0	2,0	4,6	0,5
	1400	2500	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 1750	≥ 3150	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	550	1000	2,9	2,6	5,1	0,4
	1100	2000	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 1500	≥ 2700	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : MKJI th 1997

Tabel 2.15. Nilai EMP Jalan Enam Lajur – Dua Arah Terbagi (6/2 D)

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)	EMP			
		MHV	LB	LT	MC
Datar	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1500	1,4	1,4	2,0	0,6
	2700	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2300	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	1100	2,0	2,0	4,6	0,5
	2100	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 2650	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	3,2	2,2	5,5	0,3

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)	EMP			
		MHV	LB	LT	MC
	800	2,9	2,6	5,1	0,4
	1700	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 2300	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : MKJI th 1997

Tabel 2.16. Nilai EMP Kendaraan Berat Menengah dan Truk Besar, Kelandaian Khusus Mendaki

Panjang (Km)	EMP									
	Gradient (%)									
	3		4		5		6		7	
	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT	MHV	LT
0,50	2,00	4,00	3,00	5,00	3,80	6,40	4,50	7,30	5,00	8,00
0,75	2,50	4,60	3,30	6,00	4,20	7,50	4,80	8,60	5,30	9,30
1,0	2,80	5,00	3,50	6,20	4,40	7,60	5,00	8,60	5,40	9,30
1,5	2,80	5,00	3,60	6,20	4,40	7,60	5,00	8,50	5,40	9,10
2,0	2,80	5,00	3,60	6,20	4,40	7,50	4,90	8,30	5,20	8,90
3,0	2,80	5,00	3,60	6,20	4,20	7,50	4,60	8,30	5,00	8,90
4,0	2,80	5,00	3,60	6,20	4,20	7,50	4,60	8,30	5,00	8,90
5,0	2,80	5,00	3,60	6,20	4,20	7,50	4,60	8,30	5,00	8,90

- EMP Kendaraan Ringan (LV) selalu 1,0
- EMP Bus Besar (LB) adalah 2,5 untuk arus <1000 kend/jam dan 2,0 untuk keadaan lainnya
- Gunakan Tabel 2.15 untuk menentukan nilai EMP Kendaraan Berat Menengah (MHV) dan Truk Besar (LT). Jika arus lalu lintas dua arah >1000 kend/jam nilai tersebut dikalikan 0,7
- EMP untuk Sepeda Motor (MC) adalah 0,7 untuk arus < 1000 kend/jam dan 0,4 untuk keadaan lainnya

Sumber : MKJI th 1997

2.3.7 Hambatan Samping

Hambatan samping adalah pengaruh kegiatan disamping ruas jalan terhadap kinerja lalu lintas, dimana perhitungan frekwensi berbobot kejadian per-jam per-200 m dari segmen jalan yang diamati, pada kedua sisi jalan. Antara lain:

- Pejalan kaki (bobot = 0,6)
- Parkir dan kendaraan berhenti (bobot = 0,8)
- Kendaraan masuk dan keluar lahan samping jalan (bobot = 1,0),
- Kendaraan lambat (bobot = 0,4)

Sedangkan kelas hambatan samping dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17. Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping	Kode	Frekwensi Berbobot Dari Kejadian (Kedua Sisi)	Kondisi Khas
Sangat rendah	VL	< 50	Pedalaman, pertanian atau tidak berkembang; tanpa kegiatan.
Rendah	L	50 - 149	Pedalaman, beberapa bangunan dan kegiatan disamping jalan.
Sedang	M	150 - 249	Desa, kegiatan dan angkutan local
Tinggi	H	250 - 350	Desa, beberapa kegiatan pasar
Sangat tinggi	VH	> 350	Hampir perkotaan, pasar/kegiatan perdagangan

Sumber : MKJI th 1997

2.3.8 Analisa Kecepatan Arus

2.3.8.1 Kecepatan Arus Bebas

Persamaan untuk penentuan kecepatan arus bebas mempunyai bentuk umum sebagai berikut :

$$FV = (F_{VO} + FV_W) \times FFV_{SF} \times FFV_{RC}$$

Keterangan :

FV = kecepatan arus bebas kendaraan ringan pada kondisi lapangan (km/jam)

F_{VO} = kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan pada jalan dan alinyemen yang diamati

FV_W = penyesuaian kecepatan akibat lebar jalan (km/jam)

FFV_{SF} = faktor penyesuaian akibat hambatan samping dan lebar bahu

FFV_{RC} = faktor penyesuaian akibat kelas fungsi jalan dan guna jalan

2.3.8.2 Kecepatan Arus Bebas Dasar Kendaraan Ringan

Adalah kecepatan arus bebas suatu segmen jalan untuk suatu kondisi ideal yang telah ditentukan sebelumnya, berdasarkan MKJI th 1997 nilai kecepatan arus dasar dapat dilihat melalui Tabel 2.18.

Tabel 2.18. Kecepatan Arus Bebas Dasar (F_{vo})

Tipe Jalan/Tipe Alinyemen	Kecepatan Arus Bebas Dasar (Km/jam)				
	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat Menengah (MHV)	Bus Besar (LB)	Truck Besar (LT)	Sepeda Motor (MC)
6 lajur terbagi					
□ Datar	83	67	86	64	64
□ Bukit	71	56	68	52	58
□ Gunung	62	45	55	40	55
4 lajur terbagi					
□ Datar	78	65	81	62	64
□ Bukit	68	55	66	51	58
□ Gunung	60	44	53	39	55
4 lajur tak terbagi					
□ Datar	74	63	78	60	60
□ Bukit	66	54	65	50	56
□ Gunung	58	43	52	39	53
2 lajur tak terbagi					
□ Datar SDC A	68	60	73	58	55
□ Datar SDC B	65	57	69	55	54
□ Datar SDC C	61	54	63	52	53
□ Bukit	61	52	62	49	53
□ Gunung	55	42	50	38	51

Sumber : MKJI th 1997

2.3.8.3 Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Lebar Efektif

Jalur Lalu Lintas

Adalah penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar akibat lebar jalur, berdasarkan MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19. Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas
(FV_w)

Tipe Jalan	Lebar Efektif Jalur Lalu Lintas (W_c) (M)	FV_w (km/jam)		
		Datar : SDC = A,B	<input type="checkbox"/> Bukit :SDC = A,B,C <input type="checkbox"/> Datar :SDC = C	Gunung
4-lajur dan 6-lajur terbagi	Per lajur			
	3,00	-3	-3	-2
	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	0	0
4-lajur tak terbagi	3,75	2	2	2
	Per lajur			
	3,00	-3	-2	-1
	3,25	-1	-1	-1
2-lajur tak terbagi	3,50	0	0	0
	3,75	2	2	2
	Total			
	5	-11	-9	-7
2-lajur tak terbagi	6	-3	-2	-1
	7	0	0	0
	8	1	1	0
	9	2	2	1
	10	3	3	2
	11	3	3	2

Untuk jalan dengan lajur lebih dari 6 lajur, nilai pada Tabel 2.20 untuk jalan 6 lajur terbagi, dapat digunakan.

Sumber : MKJI th 1997

2.3.8.4 Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Hambatan

Samping

Adalah faktor penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar akibat hambatan samping dan lebar bahu jalan, berdasarkan MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20. Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Hambatan Samping (FFV_{SF})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	Faktor Penyesuaian Akibat Hambatan Samping Dan Lebar Bahu			
		Lebar Bahu Efektif W_s (m)			
		$\leq 0,5$ m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
4-Lajur Terbagi 4/2 D	Sangat Rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,98	0,98	0,98	0,99
	Sedang	0,95	0,95	0,96	0,98
	Tinggi	0,91	0,92	0,93	0,97
	Sangat Tinggi	0,86	0,87	0,89	0,96
4-Lajur Tak Terbagi 4/2 UD	Sangat Rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,96	0,97	0,97	0,98
	Sedang	0,92	0,94	0,95	0,97
	Tinggi	0,88	0,89	0,90	0,96
	Sangat Tinggi	0,81	0,83	0,85	0,95
2-Lajur Tak Terbagi 2/2 UD	Sangat Rendah	1,00	1,00	1,00	1,00
	Rendah	0,96	0,97	0,97	0,98
	Sedang	0,91	0,92	0,93	0,97
	Tinggi	0,85	0,87	0,88	0,95
	Sangat Tinggi	0,76	0,79	0,82	0,93

Untuk jalan dengan 6 lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai FFV_{SF} bagi jalan 4 lajur dalam Tabel 2.21. dengan modifikasi :

$$FFV_{6,SF} = 1 - 0,8 \times (1 - FFV_{4,SF})$$

Dimana :

$FFV_{6,SF}$ = faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk 6 lajur

$FFV_{4,SF}$ = faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk 4 lajur

Sumber : MKJI th 1997

2.3.8.5 Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Kelas Fungsional Jalan

Adalah faktor penyesuaian untuk kecepatan arus bebas dasar akibat kelas fungsional jalan (arteri, kolektor atau lokal) tata guna lahan, berdasarkan MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21. Faktor Penyesuaian Kecepatan Arus Bebas Akibat Kelas Fungsional Jalan (FFV_{RC})

Tipe Jalan	Faktor Penyesuaian (FFV_{RC})				
	Pengembangan Samping Jalan (%)				
	0	25	50	75	100
4 Lajur Terbagi					
Arteri	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95
Kolektor	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94
Lokal	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93
4 Lajur Tak Terbagi					
Arteri	1,00	0,99	0,97	0,96	0,945
Kolektor	0,97	0,96	0,94	0,93	0,915
Lokal	0,95	0,94	0,92	0,91	0,895
2 Lajur Tak Terbagi					
Arteri	1,00	0,98	0,97	0,96	0,94
Kolektor	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88
Lokal	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84

Untuk jalan lebih dari 4 lajur, FFV_{RC} dapat diambil sama seperti untuk jalan 4 lajur pada Tabel 2.22.

Sumber : MKJI th 1997

2.3.9 Kapasitas

Kapasitas adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan per satuan jam yang melewati suatu titik di jalan pada kondisi yang ada. Kapasitas jalan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), dalam MKJI th 1997 dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

Keterangan :

C = kapasitas jalan (smp/jam)

C_o = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = faktor penyesuaian lebar jalan

FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisah arah (hanya jalan tak terbagi)

FC_{SF} = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan dari kerb

2.3.9.1 Kapasitas Dasar

Kapasitas dasar adalah suatu kapasitas suatu segmen jalan untuk suatu kondisi yang ditentukan sebelumnya (geometri, pola arus lalu lintas dan faktor lingkungan), menurut MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Nilai Kapasitas Dasar (C_0)

Tipe Jalan/Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar Total Kedua Arah (Smp/Jam/Lajur)
4 Lajur Terbagi	
Datar	1900
Bukit	1850
Gunung	1800
4 Lajur Tak Terbagi	
Datar	1700
Bukit	1650
Gunung	1600
2 Lajur Tak Terbagi	
Datar	3100
Bukit	3000
Gunung	2900

Kapasitas jalan dengan lebih dari 4 lajur dapat ditentukan dengan menggunakan kapasitas per lajur dalam Tabel 2.22 (jalan 4 lajur), meskipun lajur yang bersangkutan tidak dengan lebar yang standar.

Sumber : MKJI th 1997

2.3.9.2 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas

Merupakan faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat lebar jalur lalu lintas, menurut MKJI th 1997 faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar Efektif Jalur Lalu Lintas (W_c) (M)	FC_w
4 Lajur Terbagi	Per Lajur	
6 Lajur Terbagi	3,0	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00

Tipe Jalan	Lebar Efektif Jalur Lalu Lintas (Wc) (M)	FC _w
	3,75	1,03
4 Lajur Tak Terbagi	Per Lajur	
	3,0	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
2 Lajur Tak Terbagi	3,75	1,03
	Total Kedua Arah	
	5	0,69
	6	0,91
	7	1,00
	8	1,08
	9	1,15
	10	1,21
	11	1,27

Faktor penyesuaian kapasitas jalan untuk jalan lebih dari 6 lajur dapat ditentukan dengan menggunakan angka-angka per lajur yang diberikan untuk jalan 4 lajur dan 6 lajur dalam Tabel 2.23

Sumber : MKJI th 1997

2.3.9.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisah Jalan

Merupakan penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat pemisah arah dan hanya diperuntukkan buat jalan 2 arah tak terbagi, menurut MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisah Arah (FC_{sp})

Pemisahan Arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC	2 Lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	4 Lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber : MKJI th 1997

2.3.9.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping

Merupakan faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat hambatan samping sebagai fungsi dari lebar bahu, menurut MKJI th 1997 nilai dari faktor ini dapat dilihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FC_{SF})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	FC_{SF}			
		Lebar Bahu Efektif W_s (m)			
		$\leq 0,5$ m	1 m	1,5 m	≥ 2 m
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	1,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2 UD dan 4/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Faktor penyesuaian kapasitas untuk 6 lajur dapat ditentukan dengan menggunakan nilai FC_{SF} untuk jalan 4 lajur, kemudian dimodifikasi :

$$FC_{6,SF} = 1 - 0,8 \times (1 - FFV_{4,SF})$$

Dimana :

$FC_{6,SF}$ = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 6 lajur

$FC_{4,SF}$ = faktor penyesuaian kapasitas untuk jalan 4 lajur

Sumber : MKJI th 1997

2.3.10 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan jalan adalah kemampuan suatu jalan untuk melayani lalu lintas yang lewat. Sedangkan volume pelayanan adalah volume maksimum yang dapat ditampung oleh suatu jalan sesuai dengan tingkat pelayanan. Untuk menganalisis tingkat pelayanannya, dapat digunakan MKJI th 1997 yang menggunakan istilah kinerja jalan dengan indikator Derajat Kejenuhan atau *Degree of Saturation* (DS), kecepatan dan waktu tempuh. Menurut MKJI th 1997, besarnya Derajat Kejenuhan adalah :

$$DS = \frac{Q}{C}$$

Keterangan :

Q = VJP = volume kendaraan (smp/jam)

C = kapasitas jalan (smp/jam)

Bila Derajat Kejenuhan (DS) yang didapat $< 0,75$, maka jalan tersebut masih memenuhi/layak. Sedangkan apabila Derajat Kejenuhan yang didapat $> 0,75$ maka harus dilakukan pelebaran jalan.

2.4 ASPEK GEOMETRIK JALAN

2.4.1 Alinyemen

Dalam perencanaan, tipe alinyemen ditentukan oleh jumlah naik dan turun (m/km) dan jumlah lengkung horizontal (rad/km) sepanjang segmen jalan. Tipe alinyemen dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26. Tipe Alinyemen

Tipe Alinyemen	Keterangan	Lengkung Vertikal : Naik + Turun (m/km)	Lengkung Horizontal (rad/km)
F	Datar	< 10 (5)	$< 1,0$ (0,25)
R	Bukit	10 – 30 (25)	1,0 – 2,5 (2,0)
H	Gunung	> 30 (45)	$> 2,5$ (3,5)

Sumber : MKJI th 1997

2.4.1.1 Alinyemen Horizontal

Merupakan proyeksi sumbu jalan tegak lurus bidang horizontal yang terdiri dari susunan lurus (tangen) dan garis lengkung (busur, lingkaran, spiral). Bagian lengkung merupakan bagian yang perlu mendapat perhatian, karena pada bagian tersebut dapat terjadi gaya sentrifugal yang cenderung dapat melemparkan kendaraan keluar jalan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tikungan pada alinyemen horizontal adalah :

- Superelevasi (e)
Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan rencana.

- Jari-Jari Tikungan

Jari-jari tikungan minimum (R_{min}) ditetapkan sebagai berikut :

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

Keterangan :

R_{min} = jari-jari tikungan minimum (m)

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e_{max} = superelevasi maksimum (%)

f_{max} = koefisien gesek maksimum untuk perkerasan aspal

($f=0,14 - 0,24$)

Panjang jari-jari minimum dapat dilihat pada Tabel 2.27 berikut ini :

Tabel 2.27 Panjang Jari - Jari Minimum

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Jari-Jari Minimum R_{min} (m)
120	600
100	350
80	210
60	110
50	80
40	50
30	30
20	15

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

- Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah lengkung transisi pada alinyemen horizontal dan sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada lengkung peralihan, perubahan kecepatan dapat terjadi secara berangsur-angsur serta memberikan kemungkinan untuk mengatur pencapaian kemiringan (perubahan kemiringan melintang secara berangsur-angsur). Panjang lengkung peralihan dapat dilihat pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28. Panjang Lengkung Peralihan (Ls) Dan Panjang Superelevasi (Le) Untuk Jalan 1 Jalur – 2 lajur – 2 Arah

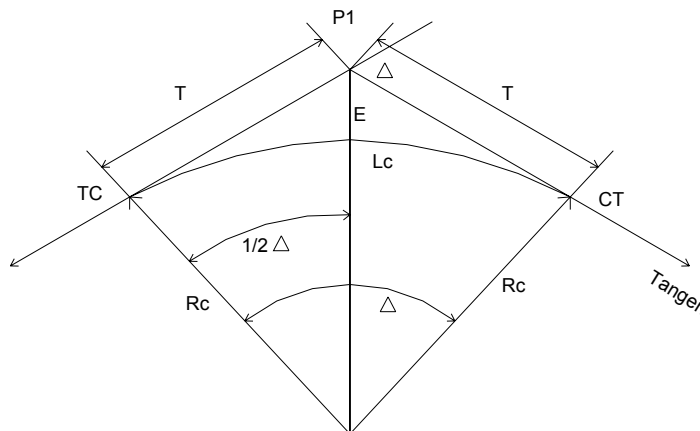
V_R (km/jam)	Superelevasi, e (%)									
	2		4		6		8		10	
	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le	Ls	Le
20										
30										
40	10	20	15	25	15	25	25	30	35	40
50	15	25	20	30	20	30	30	40	40	50
60	15	30	20	35	25	40	35	50	50	60
70	20	35	25	40	30	45	40	55	60	70
80	30	55	40	60	45	70	65	90	90	120
90	30	60	40	70	50	80	70	100	100	130
100	35	65	45	80	55	90	80	110	110	145
110	40	75	50	85	60	100	90	120	-	-
120	40	80	55	90	70	110	95	135	-	-

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Macam-macam tikungan pada perencanaan alinyemen horizontal :

1. Full Circle

Contoh gambar lengkung full circle dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Lengkung Full Circle

Keterangan :

PI = titik perpotongan tangen

Rc = jari-jari lingkaran (m)

Δ = sudut tangen (°)

- TC = Tangen Circle
 T = jarak antara TC dan PI atau PI dan CT (m)
 Lc = panjang bagian lengkung circle
 E = jarak PI ke lengkung circle

Rumus yang digunakan :

$$\begin{aligned}
 T &= R_c \times \tan 1/2\Delta \\
 E &= R_c \times \tan 1/4\Delta \\
 E &= \sqrt{(R^2 + T^2)} - R_c \\
 E &= R (\sec 1/2\Delta - 1) \\
 L_c &= \frac{2 \times \pi \times \Delta \times R_c}{360^\circ} \\
 L_t &= L_c
 \end{aligned}$$

Batasan yang diperbolehkan dalam menggunakan Full Circle dapat dilihat dalam Tabel 2.29 berikut :

Tabel 2.29 Batasan Tikungan Tipe Full Circle

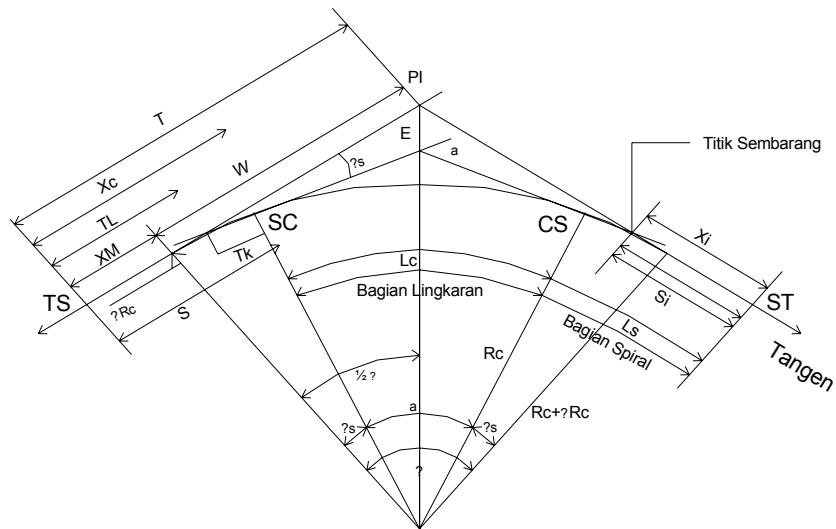
Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari – Jari Minimum (m)
120	> 2500
100	> 1500
80	> 900
60	> 500
40	> 250
30	> 130

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Jenis tikungan ini dapat digunakan pada tikungan dengan jari-jari besar dan sudut tangen (Δ) relatif kecil. Pada umumnya tipe tikungan ini dipakai pada daerah dataran, tetapi juga tergantung pada besarnya kecepatan rencana dan radius tikungan.

2. Spiral – Circle - Spiral

Contoh gambar lengkung Spiral – Circle – Spiral dapat dilihat pada Gambar 2.3..



Gambar 2.3. Lengkung Spiral – Circle – Spiral

Keterangan :

- PI = titik perpotongan tangen
- TS = titik perubahan dari tangen ke spiral
- SC = titik perubahan dari spiral ke circle
- CS = titik perubahan dari circle ke spiral
- Rc = jari-jari lengkung lingkaran
- L = panjang busur spiral dari TS ke suatu titik sembarang
- Lc = panjang busur lingkaran
- Ls = panjang busur spiral
- T = panjang tangen utama
- E = panjang eksternal total dari PI ke tengah busur lingkaran
- TL = panjang “tangen panjang” dari spiral
- TK = panjang “tangen pendek” dari spiral
- S = panjang tali busur spiral
- Si = panjang tali busur spiral dari TS ke titik sembarang
- ΔRc = jarak dari busur lingkaran tergeser terhadap jarak tengah
- Xm = jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada tangen
- Δ = sudut pertemuan antara tangen utama

- α = sudut pertemuan antara tangen lingkaran dan sudut pusat lingkaran
 θ_s = sudut spiral
 θ_{si} = sudut spiral ke titik sembarang pada spiral
 δ = sudut antara tangen utama dengan tali busur
 X_c, Y_c = koordinat SC atau CS terhadap TS – PI atau PI – TS
 i, Y_i = koordinat setiap titik pada spiral terhadap TS – PI atau PI – TS

Rumus yang digunakan :

$$L_s = \frac{V_R \times T}{3,6} \Rightarrow T = 1 - 3 \text{ det } ik$$

$$L_s = \frac{0,022 \times V_R^3}{R_c \times C} - \frac{2,727 \times V_R \times e}{C}$$

$$L_s = \frac{(e_{\max} - e_n) \cdot V_R}{3,6 \cdot r_e} \Rightarrow V_R \leq 70 \text{ km/jam} \rightarrow r_e = 0,035 \text{ m/m/detik}$$

$$\Rightarrow V_R \geq 80 \text{ km/jam} \rightarrow r_e = 0,025 \text{ m/m/detik}$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6R_c} \quad ; (\text{ dengan } L_s \text{ minimum })$$

$$\theta_s = \frac{L_s}{2R_c} = 28,648 L_s / R_c \rightarrow \text{ dalam } (^\circ)$$

$$\Delta R_c = Y + R_c (\cos \theta_s - 1)$$

$$X_m = L_s - R_c \sin \theta_s$$

$$\omega = (R_c + \Delta R_c) \text{ tg } \Delta / 2$$

$$T = X_m + \omega$$

$$L_c = R_c \pi \theta_s / 180^\circ$$

Untuk lengkung S-C-S sebaiknya $L_c \geq 20\text{m}$

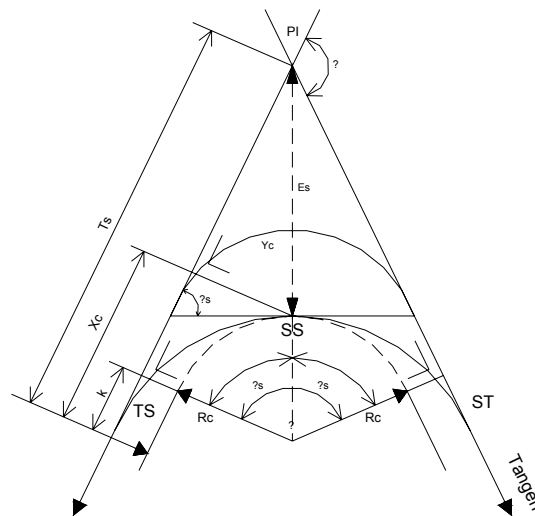
$$E = \left(\frac{R_c + \Delta R_c}{\cos \Delta / 2} \right) - R_c$$

Pada tikungan jenis ini, dari arah tangen ke arah circle memiliki spiral yang merupakan transisi dari bagian luar ke bagian circle. Adanya lengkung spiral adalah lengkung transisi pada alinyemen horizontal. Lengkung spiral sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung

penuh secara berangsur-angsur. Pada bagian ini terjadi gaya sentrifugal dari 0 sampai dengan maksimum ketika kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkung tersebut.

3. Spiral – Spiral

Contoh gambar lengkung Spiral – Spiral dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Lengkung Spiral – Spiral

Rumus yang digunakan :

$\Delta C(\alpha) = 0 \rightarrow \Delta = 2\theta s$ $L_c = 0 \rightarrow L_t = 2L_s$ $L_s = \frac{2\pi R_c}{360^\circ} \times 2\theta s \rightarrow L_s = \frac{\theta s \times R_c}{28,648}$ $T_s = (R_c + P) \operatorname{tg} \Delta/2 + K$ $E_s = (R_c + P) \operatorname{sec} \Delta/2 - R_c$
--

Jenis tikungan Spiral - Spiral digunakan pada tikungan tajam dengan sudut tangen (Δ) yang sangat besar. Pada Spiral - Spiral, dimana $L_c = 0$, merupakan tikungan yang kurang baik. Sebab tidak ada jarak tertentu dalam masa tikungan yang sama miringnya. Pada lengkung yang berbentuk Spiral - Spiral, prinsipnya hampir sama dengan tipe

Spiral - Circle - Spiral, hanya disini tidak digunakan lengkung Circle, $L_c = 0$ hingga $L_t = 2L_s$.

2.4.1.2 Pelebaran Pada Tikungan

Pada tikungan, kendaraan tidak dapat membuat lintasan sesuai lajur yang tersedia sebagaimana halnya pada bagian yang lurus. Hal ini disebabkan karena kendaraan mempunyai panjang tertentu, dimana pada waktu membelok roda bagian belakang akan mengalami lintasan yang lebih ke dalam dibandingkan roda bagian depan. Bila kecepatannya tinggi, maka akan terjadi pergeseran roda belakang ke arah luar. Untuk itu diperlukan pelebaran di bagian tikungan disamping lebar perkerasan yang telah ada atau yang akan direncanakan.

Menurut PGJAK 1997, besarnya pelebaran ditetapkan sesuai Tabel 2.30 dan 2.31.

Tabel 2.30 Pelebaran Di Tikungan Per Lajur (m)

Lebar Jalur 2 x 3,50 m, 2 arah atau 1 arah

R (m)	Kecepatan Rencana, V_R (km/jam)							
	50	60	70	80	90	100	110	120
1500	0	0	0	0	0	0	0	0,1
1000	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
750	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
500	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	
400	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5		
300	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5		
250	0,4	0,5	0,5	0,6				
200	0,6	0,7	0,8					
150	0,7	0,8						
140	0,7	0,8						
130	0,7	0,8						
120	0,7	0,8						
110	0,7							
100	0,8							
90	0,8							
80	1							
70	1							

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Tabel 2.31 (lanjutan) Pelebaran Di Tikungan Per Lajur (m)

Lebar Jalur 2 x 3,00 m, 2 arah atau 1 arah

R (m)	Kecepatan Rencana, V_R (km/jam)						
	50	60	70	80	90	100	110
1500	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
1000	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6
750	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
500	0,8	0,9	0,9	1	1	1,1	1
400	0,9	0,9	1	1	1,1	1,1	
300	0,9	1	1	1,1			
250	1	1,1	1,1	1,2			
200	1,2	1,3	1,3	1,4			
150	1,3	1,4					
140	1,3	1,4					
130	1,3	1,4					
120	1,3	1,4					
110	1,3						
100	1,4						
90	1,4						
80	1,6						
70	1,7						

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Elemen-elemen dari pelebaran perkerasan tikungan adalah :

1. Off Tracking (U)

Untuk perancangan geometrik jalan antar kota, Bina Marga memperhitungkan lebar B dengan mengambil posisi kritis kendaraan yaitu pada saat roda depan kendaraan pertama kali dibelokkan dan tinjauan dilakukan untuk lajur sebelah dalam. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. yang berdasarkan pada kendaraan rencana truk tunggal.

2. Kesukaran Dalam Mengemudi Di Tikungan (Z)

Tambahan lebar perkerasan akibat kesukaran dalam mengemudi di tikungan diberikan oleh AASHTO sebagai fungsi dari kecepatan kendaraan dan semakin radius lajur sebelah dalam. Semakin tinggi kecepatan kendaraan dan semakin tajam tikungan tersebut, semakin besar tambahan pelebaran akibat kesukaran dalam mengemudi. Hal

ini disebabkan oleh kecenderungan terlemparnya kendaraan ke arah luar dalam gerakan menikung tersebut.

$$Z = \frac{0,105V}{\sqrt{R}}$$

Dimana : V = kecepatan (km/jam)

R = radius lengkung (m)

Kebebasan samping di kiri dan kanan jalan harus dipertahankan demi keamanan dan tingkat pelayanan jalan. Kebebasan samping (C) sebesar 0,5 m, 1 m dan 1,25 m cukup memadai untuk jalan dengan lebar lajur 6 m, 7 m, dan 7,50 m.

Dari Gambar 2.5. dapat dilihat :

b = lebar kendaraan rencana

B = lebar perkerasan yang ditempati suatu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam

U = B – b

C = lebar kebebasan samping di kiri dan kanan kendaraan

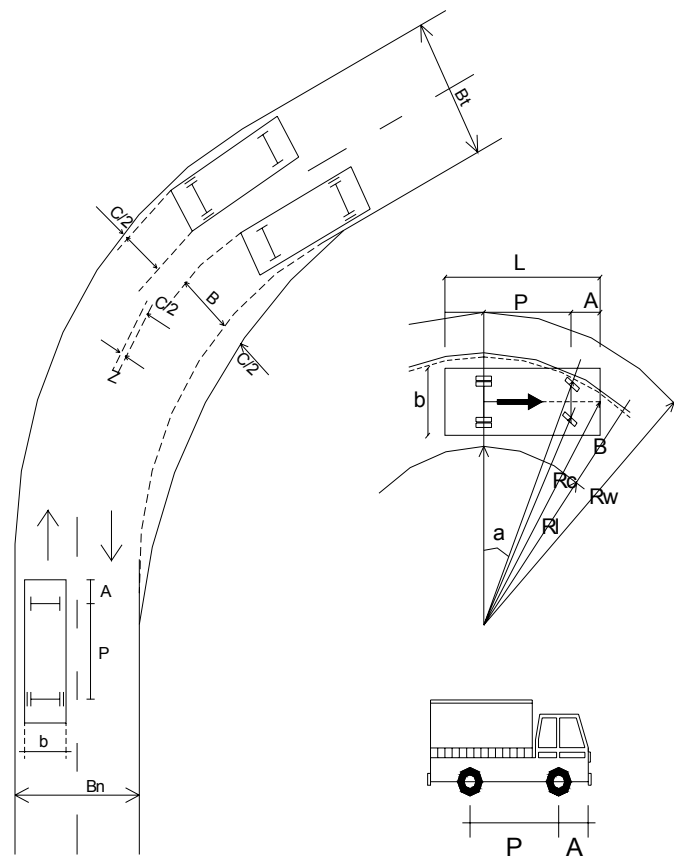
Z = lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan

B_n = lebar total perkerasan pada bagian lurus

B_t = lebar total perkerasan di tikungan = n (B + C) + Z

n = jumlah lajur

Δb = tambahan lebar perkerasan di tikungan = B_t – B_n



Gambar 2.5. Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

2.4.1.3 Persimpangan Sebidang

Dimaksudkan untuk perencanaan persimpangan sebidang dimana jalan primer berhubungan satu sama lain atau dihubungkan dengan jalan sekunder.

2.4.1.3.1 Perancangan Geometrik dan Pengendalian Lalu Lintas Secara Konsisten

Perencanaan persimpangan sebidang dan pengawasan lalu lintas yang atau akan diterapkan harus ditempuh secara konsisten. Kedua hal tersebut saling mempengaruhi satu sama lain dan tidak boleh direncanakan secara terpisah.

2.4.1.3.2 Kecepatan Rencana Di Dekat dan Pada Persimpangan

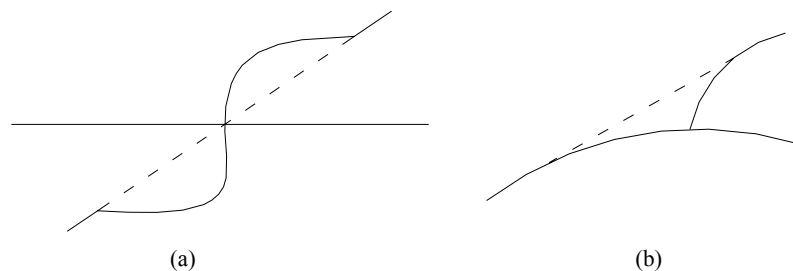
Kecepatan rencana semula tidak perlu digunakan pada ruas persimpangan tempat alinyemen sering diubah untuk menyediakan jalur tambahan.

2.4.1.3.3 Jumlah Jalan

Jumlah jalan dalam persimpangan tidak boleh melebihi 4, kecuali dalam kasus beberapa persimpangan persegi/bundar atau putaran. Persimpangan jalur ganda sering mengakibatkan kesulitan pengontrolan lalu lintas atau kemacetan lalu lintas.

2.4.1.3.4 Sudut Persimpangan

Persimpangan tegak lurus biasanya diinginkan untuk kemampuan pengelihatn maksimal dan untuk mempersingkat waktu persimpangan. Jalan-jalan yang bersimpangan dengan sudut tajam, terutama di bawah 60° , harus diarahkan kembali seperti dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Pengarahan Kembali Pada Persimpangan

2.4.1.3.5 Lebar Jalur

Untuk mengadakan penambahan lajur maka lebar jalur lalu lintas utama pada persimpangan dapat dipersempit seperti pada Tabel 2.32 di bawah ini. Dalam hal lebar semula

adalah 2,75 m, maka lebar tidak dapat dipersempit lagi. Lebar jalur tambahan minimal harus 2,75 m.

Tabel 2.32. Lebar Jalur Lalu Lintas Utama Pada Persimpangan

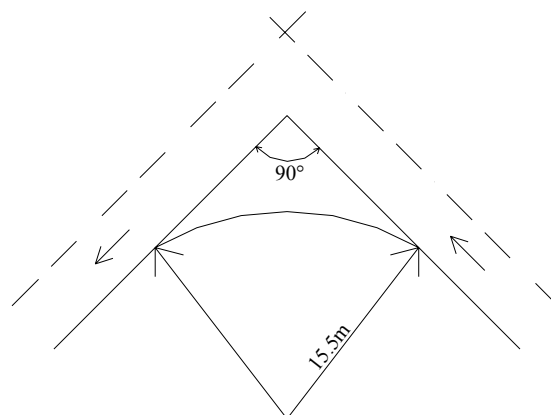
Lebar semula (m)	Lebar dipersempit (m)
3,5	3
3,25 – 3,00	2,75

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

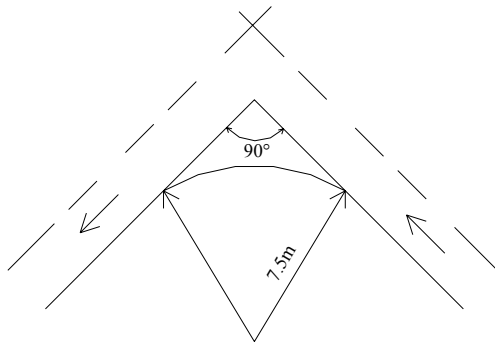
2.4.1.3.6 Lengkung Persimpangan

Tiga perencanaan minimum tepi dalam perkerasan untuk belokan ke kiri 90° untuk menampung kendaraan penumpang, truk tunggal, bis dan semi-trailer dapat dilihat dalam Gambar 2.6a. sampai Gambar 2.6c.

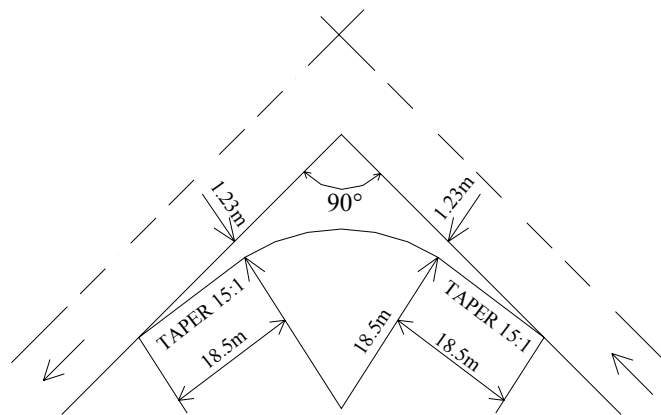
Pada gambar, truk dan bis (atau semi - trailer), dapat membuat belokan ke kiri tanpa melanggar jalur yang berdekatan. Jika pelanggaran atas jalur yang berdekatan diperkenankan, jari-jari lengkung yang lebih kecil dapat juga menerima kendaraan yang berukuran besar. Penetapan lengkungan yang akan dipakai diantara ketiga lengkung tersebut tergantung pada volume dan karakteristik lalu lintas dan pentingnya jalan raya.



Gambar 2.6a. Rancangan Minimum Untuk Kendaraan Penumpang



Gambar 2.6b. Rancangan Minimum Untuk Truk Unit Tunggal Dan Bis



Gambar 2.6c. Rancangan Minimum Untuk Semi-Trailer

2.4.1.4 Kemiringan Melintang Pada Jalan

Diagram ini merupakan cara untuk menggambarkan pencapaian superelevasi dan lereng normal kemiringan melintang (superelevasi). Pada jalan dengan lebar kemiringan badan jalan (e) sebesar 2% merupakan kemiringan minimum, sedangkan kemiringan maksimumnya 10%. Syarat agar konstruksi aman adalah bila ($e_{\max} + f_m$) yang lebih besar dari (e_{\max} yang didapat dari lapangan). Besarnya f_m ini didapat dari grafik koefisien gesekan melintang sesuai dengan AASHTO 1986.

Rumus :

$$e_{\max} + f_m V^2 : (127 \times R)$$

Keterangan :

- e_{\max} = kemiringan melintang jalan
 f_m = koefisien gesekan melintang
 V = kecepatan rencana (km/jam)
 R = jari-jari tikungan

Pembuatan kemiringan jalan mempertimbangkan kenyamanan, keamanan, komposisi kendaraan dan variasi kecepatan serta efektifitas kerja dari alat-alat berat pada kemiringan jalan dapat dibagi atas :

- Untuk jalan rural/luar kota, maksimum adalah 10%
- Untuk jalan urban/kota, kemiringan maksimum adalah 8%

2.4.2 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah garis vertikal yang dibentuk oleh bidang vertikal melalui sumbu jalan. Alinyemen vertikal menyatakan bentuk geometri jalan dalam arah vertikal. Dalam perencanaan alinyemen vertikal, biasanya setelah diketahui elevasi dan STA, PVI (*Point of Vertical Intersection*), kemudian baru dihitung besaran-besaran sebagai berikut :

- Panjang PLV/lengkung vertikal (m)
- Pergeseran permukaan jalan di bawah atau di atas PPV
- Pergeseran vertikal (E) dalam (m)
- Elevasi dan Stasioning dari PLV dan PTV
- Elevasi permukaan jalan antara PLV, PPV dan PTV pada setiap stasioning yang terdapat pada setiap alinyemen

Rumus yang digunakan :

$$\Delta = g_1 - g_2 = \dots \%$$

Keterangan :

Δ = perbedaan aljabar landai

g_1, g_2 = kelandaian jalan (%)

Jarak antara lengkung vertikal dengan PPV (E) :

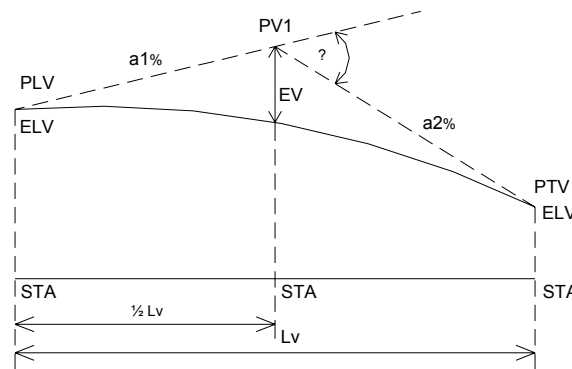
$$E = \frac{\Delta \times L}{800}$$

Keterangan :

- E = jarak antara lengkung vertikal dengan PPV
- L = panjang lengkung vertikal

2.4.2.1 Alinyemen Vertikal Cembung

Dalam perencanaan alinyemen vertikal cembung dapat ditinjau terhadap jarak pandang henti dan syarat drainase. Dimana panjang alinyemen vertikal cembung dapat dikatakan memenuhi syarat, apabila kebebasan pandang henti untuk kecepatan rencana dapat dipenuhi. Gambar alinyemen vertikal cembung dapat dilihat pada Gambar 2.7..



Gambar 2.7. Alinyemen Vertikal Cembung

Pandangan bebas lengkung vertikal cembung jika S < L :

$$L = \frac{S^2 \times \Delta}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Jika S > L, maka :

$$L = 2S - \frac{2[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}]^2}{\Delta}$$

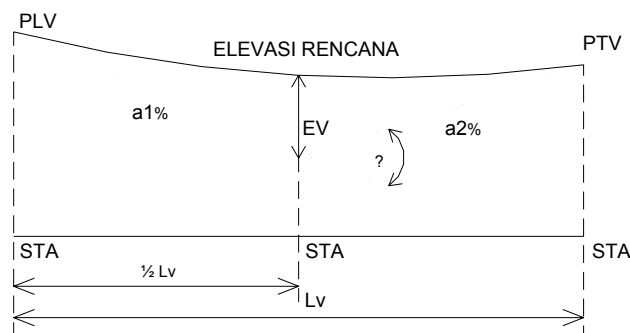
Keterangan :

- L = panjang minimum lengkung vertikal cembung
- S = jarak pandang
- Δ = beda aljabar untuk kelandaian = g₁ - g₂ (%)
- h₁ = tinggi mata terhadap permukaan jalan = 1,25 m
- h₂ = tinggi benda objek terhadap permukaan jalan

1,25 m untuk jarak pandang menyiap
 0,10 m untuk jarak pandang henti

2.4.2.2 Alinyemen Vertikal Cekung

Gambar alinyemen vertikal cekung dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Alinyemen Vertikal Cekung

Peninjauan panjang alinyemen vertikal cekung minimum berdasarkan pada jarak pandang waktu malam hari atau jarak yang dapat dijangkau oleh lampu besar. Disamping itu memperhatikan juga faktor kenyamanan, dimana perhitungan rumus berdasarkan pada pengaruh gaya berat oleh gaya sentripetal maksimum yang diperbolehkan. Besarnya percepatan sentripetal maksimum yang timbul adalah = 0,3 m/det² sebagai syarat keamanan.

- Rumus berdasarkan penyinaran lampu besar :
 Pandangan bebas vertikal cekung jika $S < L$

$$L = \frac{\Delta S^2}{120 + 3,5S} \rightarrow E = \frac{\Delta L}{800}$$

Jika $S > L$, maka :

$$L = 2S - \frac{120 + 3,5S}{\Delta}$$

- Rumus berdasarkan kenyamanan :

$$L = \frac{\Delta V^2}{389}$$

Keterangan :

- L = panjang minimal lengkung vertikal cekung (m)
- Δ = beda aljabar kedua tangen = $g_1 - g_2$ (%)
- V = kecepatan rencana landai maksimum
- S = jarak pandang

2.4.2.3 Landai Maksimum Jalan

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa menggunakan gigi rendah. Kelandaian maksimum untuk berbagai V_R , dapat dilihat pada Tabel 2.33.

Tabel 2.33. Kelandaian Maksimum Yang Dijinkan

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

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Panjang kritis yaitu panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh V_R . Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari 1 menit panjang kritis yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 2.34.

Tabel 2.34. Panjang Kritis (m)

Kecepatan Pada Awal Tanjakan (Km/Jam)	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

2.4.3 Jarak Pandang

Keamanan dan kenyamanan pengemudi kendaraan untuk dapat melihat dengan jelas dan menyadari situasinya pada saat mengemudi, sangat tergantung pada jarak yang dapat dilihat dari tempat duduknya. Panjang jalan di depan kendaraan yang masih dapat dilihat dengan jelas dari titik kedudukan pengemudi disebut jarak pandang. Jarak pandang berguna untuk :

- Menghindarkan terjadinya tabrakan yang dapat membahayakan kendaraan dan manusianya sendiri akibat adanya benda yang berukuran cukup besar, kendaraan yang sedang berhenti, pejalan kaki atau hewan-hewan pada lajur lainnya.
- Memberi kemungkinan untuk mendahului kendaraan lain yang bergerak dengan kecepatan lebih rendah.
- Menambah efisiensi jalan tersebut, sehingga volume pelayanan dapat dicapai semaksimal mungkin.
- Sebagai pedoman bagi pengatur lalu lintas dalam menempatkan rambu-rambu lalu lintas yang diperlukan pada setiap segmen jalan.

2.4.3.1 Jarak Pandang Henti

Jarak pandang henti adalah jarak minimum yang diperlukan pengemudi untuk dapat menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat halangan di depannya. Guna memberi keamanan pada pengemudi kendaraan, maka pada setiap panjang jalan haruslah dipenuhi paling sedikit jarak pandangan sepanjang jarak pandang henti minimum.

Rumus umum untuk jarak pandangan henti (J_h) adalah :

$$J_h = \left[\frac{V}{3,6} \right] t + \left[\frac{V}{3,6} \right]^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot f$$

Keterangan :

J_h = jarak pandang henti minimum (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

t = waktu tanggap = 2,5 det

g = percepatan gravitasi = $9,8 \frac{m}{det^2}$

f = koefisien gesekan = 0,35 – 0,55

Jarak pandang henti minimum yang dihitung berdasarkan rumus di atas dengan pembulatan-pembulatannya untuk berbagai V_R dapat dilihat pada Tabel 2.35.

Tabel 2.35. Jarak Pandang Henti Minimum

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

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

2.4.3.2 Jarak Pandang Menyiap

Jarak pandang menyiap adalah jarak yang dibutuhkan pengemudi untuk dapat melakukan gerakan menyiap dengan aman dan dapat melihat kendaraan dari arah depan dengan jelas. Jarak pandang menyiap standar dihitung berdasarkan atas panjang jalan yang diperlukan untuk dapat melakukan gerakan menyiap suatu kendaraan dengan sempurna dan aman berdasarkan asumsi yang diambil. Rumus jarak pandangan menyiap adalah :

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

Keterangan :

- d_1 = jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)
- d_2 = jarak yang ditempuh selama mendahului sampai 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 berlawanan, yang besarnya diambil sama dengan $2/3 d_2$ (m)

Jarak pandang yang sesuai dengan V_R ditetapkan dari Tabel 2.36.

Tabel 2.36 Jarak Pandang Menyiap

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

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

2.4.4 Penampang Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan tegak lurus sumbu jalan. Pada potongan melintang jalan dapat dilihat bagian-bagian jalan. Bagian-bagian jalan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Bagian-bagian yang langsung berguna untuk lalu lintas :
 - a. Jalur lalu lintas adalah bagian jalan yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan yang secara fisik berupa perkerasan jalan. Jalur lalu lintas dapat terdiri dari beberapa lajur dan tipe :
 - 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), dimana n = jumlah lajur
 Keterangan : TB = Tidak Terbagi ; B = Terbagi

- b. Lajur lalu lintas

Lajur adalah bagian jalur lalu lintas yang memanjang dibatasi oleh marka. Lajur jalan memiliki lebar yang cukup untuk dilewati oleh suatu kendaraan bermotor sesuai dengan kendaraan rencana. Lebar lajur tergantung pada kecepatan dan kendaraan rencana, dinyatakan dalam fungsi dan kelas jalan, dapat dilihat pada Tabel 2.37.

Tabel 2.37. Lebar Lajur Ideal

Fungsi	Kelas	Lebar Lajur Ideal (m)
Arteri	I	3,75
	II, IIIA	3,5
Kolektor	IIIA, IIIB	3
Lokal	IIIC	3

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

c. Bahu Jalan

Bahu jalan adalah bagian jalan yang terletak di tepi jalur lalu lintas dan harus diperkeras, yang mempunyai fungsi lajur lalu lintas darurat, tempat berhenti sementara, ruang bebas samping bagi lalu lintas dan penyangga sampai untuk kestabilan perkerasan jalur lalu lintas. Kemiringan bahu jalan normal antara 3% - 5%.

d. Trotoar

Trotoar mempunyai fungsi untuk memisahkan pejalan kaki dari jalur lalu lintas dan kendaraan guna menjamin keselamatan pejalan kaki dan kelancaran lalu lintas

e. Median

Median adalah bagian bangunan jalan yang secara fisik memisahkan 2 jalur lintas yang berlawanan arah.

2. Bagian-bagian yang berguna untuk drainase jalan :

- a. Saluran samping
- b. Kemiringan melintang jalur lalu lintas
- c. Kemiringan melintang bahu jalan
- d. Talud/kemiringan lereng

3. Bagian-bagian pelengkap jalan :

- a. Kerb
- b. Pengaman tepi

4. Bagian-bagian konstruksi jalan :

- a. Lapisan perkerasan
- b. Lapisan pondasi atas
- c. Lapisan pondasi bawah
- d. Lapisan tanah dasar

5. Ruang Manfaat Jalan (RUMAJA) :

RUMAJA merupakan daerah sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi dan kedalaman ruang bebas tertentu yang ditetapkan oleh pembina jalan. Ruang tersebut dipergunakan untuk :

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| - median | - lereng |
| - perkerasan jalan | - ambang pengaman |
| - jalur pemisah | - timbunan dan galian |
| - bahu jalan | - gorong-gorong jalan |

- saluran tepi jalan
- bangunan pelengkap lainnya

6. Ruang milik jalan (RUMIJA) :

RUMIJA merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu yang ditetapkan oleh pembina jalan dengan suatu hak tertentu sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

7. Ruang pengawasan jalan (RUWASJA) :

RUWASJA merupakan ruang sepanjang jalan diluar RUMIJA yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu, ditetapkan oleh pembina jalan dan diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan.

Batas luar RUWASJA diukur dari as jalan yang bersangkutan dengan jarak (lebar) sesuai dengan fungsi jalan.

2.5 ASPEK PERKERASAN JALAN

2.5.1 Perancangan Konstruksi Perkerasan

Perkerasan jalan raya adalah bagian dari jalan raya yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu, yang berfungsi :

- Menyebarkan beban lalu lintas sehingga besarnya beban yang dipikul sub grade lebih kecil dari sub grade itu sendiri.
- Menyalurkan air hujan ke samping, sehingga sub grade dapat terlindung.
- Mendapatkan permukaan yang bersih dari kotoran.
- Memperoleh kenyamanan dalam perjalanan.

Salah satu jenis perkerasan jalan adalah perkerasan lentur (*Flexible Pavement*). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir pada lapisan bawah.

Jenis perkerasan lainnya adalah perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) yaitu perkerasan beton semen (PC) yang terdiri dari campuran semen PC, agregat halus (pasir) dan agregat kasar dan air yang digelar dalam satu lapis.

Dalam Perencanaan Peningkatan Ruas Jalan Rembang - Bulu (Batas Jawa Timur) ini digunakan perkerasan lentur. Tebal perkerasan lentur dihitung berdasarkan Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen SKBI 2.3.26.1987 Departemen Pekerjaan Umum, AASHTO (*American Association Of State Highway And Transportation*

Officials) 1986 dan RDS (*Road Design System*) 1993. Tebal perkerasan dihitung agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh :

- Beban kendaraan
- Perubahan suhu dan kadar air
- Perubahan volume pada lapisan bawahnya

Struktur perkerasan lentur terdiri atas :

a. Lapis permukaan (*Surface Course*)

Fungsi lapis permukaan ini adalah :

- Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda
- Sebagai lapis kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca

b. Lapis pondasi (*Base Course*)

Fungsi lapis pondasi ini adalah :

- Menahan beban roda dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya
- Sebagai lantai kerja bagi lapis permukaan
- Sebagai lapis peresapan untuk pondasi di bawahnya

c. Lapis pondasi bawah (*Sub Base Course*)

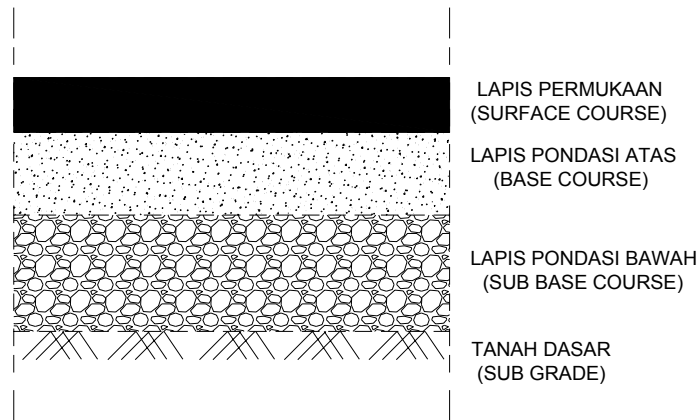
Fungsi lapis pondasi bawah ini adalah :

- Menahan dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- Mencapai efisiensi penggunaan material
- Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar
- Mencegah agar tanah dasar tidak masuk ke dalam struktur perkerasan

d. Tanah dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli atau permukaan galian/timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian jalan lainnya. Pemadatan harus dilaksanakan secara baik agar tidak terjadi penurunan yang tidak merata akibat beban lalu lintas.

Lapis perkerasan lentur dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Lapis Perkerasan Lentur

2.5.1.1 Metode Analisa Komponen SKBI 2.3.26.1987 Departemen Pekerjaan Umum

Metode Analisa Komponen ini sebenarnya merupakan AASHTO 1972 yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan di Indonesia. Dalam metode analisa komponen ini dapat menggunakan rumus atau menggunakan rumus saat mencari ITP (Indeks Tebal Perkerasan).

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Menghitung 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.
 - a. Menghitung LEP (Lintas Ekuivalen Permulaan) dengan rumus:

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_0 \times C_j \times E_j$$

Keterangan :

- LHR = lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana
 C_j = koefisien distribusi kendaraan
 E_j = angka ekuivalen tiap jenis kendaraan

- b. Menghitung LEA (Lintas Ekuivalen Akhir) dengan rumus :

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1+i)^{UR} \times C_j \times E_j$$

Keterangan :

i = angka perkembangan lalu lintas

j = jenis kendaraan

c. Menghitung LET (Lintas Ekvivalen Tengah) dengan rumus :

$$LET = \frac{1}{2}(LEP + LEA)$$

d. Menghitung LER (Lintas Ekvivalen Rencana) dengan rumus :

$$LER = LET \times \frac{UR}{10}$$

Keterangan :

LET = lintas ekvivalen tengah

UR = umur rencana

2. Menghitung daya dukung tanah dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi. Daya dukung tanah dasar diperoleh dari nilai CBR atau Plate Bearing Test, DCP, dll.

Dari nilai CBR yang diperoleh ditentukan nilai CBR rencana yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk suatu jalur tertentu.

Caranya adalah sebagai berikut :

- a. Tentukan harga CBR terendah.
- b. Tentukan jumlah harga CBR nilai CBR.
- c. Tentukan jumlah harga CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR.

3. Faktor Regional (FR)

FR ini dipengaruhi oleh bentuk alinyemen, persentase kendaraan berat dan yang berhenti serta iklim. Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam (jari-jari 30m) FR ditambah dengan 0,5. Pada rawa-rawa FR ditambah dengan 1,0.

Tabel 2.38 Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% Kelandaian Berat					
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklm I < 900mm/Th	0,5	1,0-1,5	1	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklm II 900mm/Th	1,5	2,0-2,5	2	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.*

4. Indeks Permukaan

Indeks Permukaan adalah nilai kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Tabel 2.39 Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER ^{*)}	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	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

^{*)} LER dalam satuan angka ekivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal
Catatan : pada proyek-proyek penunjang jalan, JAPAT/jalan murah, atau jalan darurat maka Ipt dapat diambil 1,0

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.*

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

Tabel 2.40 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Lapis Perkerasan	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

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness ^{*)} (Mm/Km)
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0 2,9 – 2,5	≤ 3000 > 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	≤ 2,4	-
JALAN KERIKIL	≤ 2,4	-

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.*

5. Menghitung ITP (Indeks Tebal Perkerasan)

Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dapat dicari dengan menggunakan nomogram sesuai yang terdapat pada buku petunjuk perencanaan perkerasan jalan metode analisa komponen yang masing-masing nomogram dipakai berdasarkan nilai IP dan IPo. Dengan menarik garis lurus antara nilai daya dukung tanah (DDT), dan harga LER maka didapat nilai ITP, kemudian garis dihubungkan lagi dengan nilai Faktor Regional (FR) sehingga didapat ITP.

Seperti yang sudah dijelaskan di atas tadi, bahwa untuk mendapatkan ITP dapat menggunakan rumus. Seperti menggunakan nomogram, pada saat menggunakan rumus juga memperhitungkan Faktor Regional (FR). Perbedaan nomogram dengan rumus adalah nomogram hanya dapat digunakan apabila nilai LER ≤ 10000, sedangkan rumus dapat digunakan untuk semua nilai LER. Rumus mencari ITP tersebut sebagai berikut :

$$\text{Log}W_{t18} = 9,36 \times \log(\text{ITP} + 2,54) - 3,9892 - \left(\frac{G_t}{\left(0,40 + \frac{138072}{(\text{ITP} + 2,54)^{5,19}} \right)} \right) + \log(1/\text{FR}) + 0,372 \times (\text{DDT} - 3,0)$$

Keterangan :

Gt : Fungsi logaritma dari perbandingan antara kehilangan tingkat pelayanan dari IP=IPo sampai IP = Ipt dengan kehilangan tingkat pelayanan dari Ipo sampai Ipt = 1,5.

Wt 18 : Beban lalu lintas selama umur rencana atas dasar beban sumbu tunggal 18000 pon yang telah diperhitungkan terhadap faktor regional. Rumus Wt18 = LER*3650.

FR : Faktor regional

ITP : Indeks Tebal Perkerasan untuk keadaan lingkungan dan daya dukung sesuai lokasi jalan dan indeks permukaan akhir umur rencana yang dipilih.

DDT : Daya dukung tanah dasar yang besarnya merupakan nilai korelasi dengan nilai CBR.

Nilai ITP dengan menggunakan rumus didapat dengan cara pendekatan interpolasi. Setelah didapat nilai ITP maka dapat menentukan tebal masing-masing lapis perkerasan dengan rumus sebagai berikut :

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$$

Keterangan :

a_1, a_2, a_3 = koefisien relatif kekuatan bahan

D_1, D_2, D_3 = tebal minimum masing-masing lapisan (cm)

Tabel 2.41 Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	HRA Aspal Macadam Lapen (Mekanis)
0,26	-	-	340	-	-	
0,25	-	-	-	-	-	
0,2	-	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston atas

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu Pecah (klas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu Pecah (klas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu Pecah (klas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu/pitrun (klas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu/pitrun (klas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (klas C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah/Lempung kepasiran

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.

6. Perancangan Tebal Lapisan Perkerasan

a. Lapis Permukaan

Tabel 2.42 Batas-batas minimum tebal lapis perkerasan untuk lapis permukaan.

ITP	Tebal minimum	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung : (buras/burtu/burda)
3,00 – 6,70	5	Lapen/aspal macadam, HRA, lasbutag, laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/aspal macadam, HRA, lasbutag, laston
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, laston
≥ 10,00	10	Laston

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.

b. Lapis Pondasi

Tabel 2.43 Batas-batas minimum tebal lapis perkerasan untuk lapis pondasi

ITP	Tebal minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20 10	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur Laston atas
7,50 – 9,99	20 15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam Laston atas
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.*

c. Lapis Pondasi Bawah

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

(Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987.*)

2.5.1.2 Metode AASHTO 1986

Metode ini dikembangkan dengan lebih menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Beban standar yang digunakan adalah 8,16 ton = 18 kips = 18.000 lbs. Parameter daya dukung tanah dinyatakan

dalam modulus resilien atau korelasi dengan CBR. Kondisi lingkungan diakomodir dalam koefisien drainase dan kehilangan tingkat pelayanan akibat swelling. Dibandingkan dengan metode AASHTO 72, AASHTO 86 ini lebih bersifat analitis. Data-data yang diperlukan adalah data LHR, CBR tanah dasar dan umur rencana. Prosedur perhitungan Tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode AASHTO 86 sebagai berikut :

1. Reliabilitas (R) dan Tingkat Kepercayaan (Z_r dan Z_0)

Reliabilitas merupakan nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat keandalan dari pelayanan jalan yang memadai dan dapat dipertahankan selama masa pelayanan. Reliabilitas dinyatakan dalam tingkat reliabilitas (tingkat keandalan) dalam persen. Adapun nilainya tergantung dari klasifikasi fungsi jalan dari sifat penggunaan daerah. Nilai-nilai reliabilitas yang direkomendasikan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.44 Nilai-nilai Reliabilitas

Fungsi Jalan	Tingkat Reliabilitas/Keandalan (%)	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85 - 99.9	80 - 99.9
Jalan Arteri	80 - 99	75 - 95
Jalan Kolektor	80 - 95	75 - 95
Jalan Lokal	50 - 80	50 - 80

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Sedangkan nilai Deviasi Standard Normal (Z_r) sehubungan dengan tingkat reliabilitas yang dipilih, adalah sebagai berikut :

Tabel 2.45 Nilai Deviasi Standard Normal (Z_r)

Reliabilitas (R) %	96	97	98	99	99.9	99.99
Z_r	-1.751	-1.881	-2.054	-2.327	-3.090	-3.750

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Sedangkan besarnya Z_0 tergantung pada jenis perkerasannya untuk perkerasan lentur/*flexible pavement* Simpangan Baku Keseluruhan (Z_0) = 0,40-0,50.

2. Faktor Drainase

Sistem drainase dari suatu jalan raya sangat mempengaruhi kinerja jalan yang bersangkutan. Tingkat kecepatan pengeringan air yang terdapat pada daerah konstruksi jalan bersama-sama dengan beban lalu lintas yang bekerja serta kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi umur pelayanan jalan.

AASHTO 1986 mengategorikan kualitas drainase dalam 5 tingkat, seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.46 Tingkatan Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Waktu yang dibutuhkan untuk melewati/mengeringkan air
Sangat baik (<i>excellent</i>)	2 jam
Baik (<i>good</i>)	1 hari
Sedang (<i>fair</i>)	1 minggu
Buruk (<i>poor</i>)	1 bulan
Sangat Buruk (<i>very poor</i>)	Air tidak mungkin dikeringkan

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Pada saat menentukan tebal masing-masing lapis perkerasan dibutuhkan nilai koefisien drainase dari lapis perkerasan tersebut. Koefisien drainase berdasarkan kualitas drainase pada lokasi jalan menurut AASHTO 1986 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.47 Nilai-nilai Koefisien Drainase

Kualitas Drainase	Koefisien Drainase			
	% Kandungan Air (perkerasan dalam keadaan lembab-jenuh)			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
<i>Excellent</i>	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20

Kualitas Drainase	Koefisien Drainase			
	% Kandungan Air (perkerasan dalam keadaan lembab-jenuh)			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
<i>Good</i>	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
<i>Fair</i>	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
<i>Poor</i>	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
<i>Very Poor</i>	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

3. Menghitung lintas ekivalen kumulatif pada umur rencana (W_{18})

- **Angka Ekivalen (E) beban sumbu kendaraan**

Angka ekivalen (E) beban sumbu kendaraan didapatkan dari tabel-tabel dibawah ini dengan memperkirakan Structural Number (SN) dan IPT, dalam laporan ini menggunakan tabel dengan nilai IPT 2,0.

Tabel 2.48 Angka ekivalen (E_j) beban sumbu kendaraan untuk single axel load

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.598
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.41	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
34	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.3	45.7	47.1
46	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Tabel 2.49 Angka ekuivalen (Ej) beban sumbu kendaraan untuk tandem axel load

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	0.066	0.077	0.081	0.75	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53	51.2	53
86	76.3	73.3	68	59	56.8	58.6
88	85	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Tabel 2.50 Angka ekivalen (Ej) beban sumbu kendaraan untuk triple axel load

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.001	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.01	0.012	0.012	0.01	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.022
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.053	0.06	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.08	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.14	0.149	0.14	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.39	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.56	0.587	0.58	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.71	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.2	1.2	1.19	1.18
52	1.4	1.4	1.42	1.42	1.41	1.4
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.6	2.63
62	3.1	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.9	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.554
70	5.4	5.28	5.03	4.9	5	5.15
72	6.15	6	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.2	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.9	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15	13.8	13	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

Dengan angka ekivalen kendaraan, selanjutnya adalah memperhitungkan W18 dengan memperhitungkan faktor distribusi arah serta faktor distribusi lajur. Rumus dari perhitungan beban lalu lintas sebagai berikut :

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{W}_{18}$$

$$\hat{W}_{18} = \Sigma[LHR_i \times E_i \times G_R] \times 365$$

Keterangan :

- DD adalah Faktor distribusi arah (*Directional Distribution Factor*)
Bila jalan yang akan dibuat untuk :
 - 1 arah maka DD = 1,0 (100%)
 - 2 arah maka DD = 0,5 (50%), artinya 1 arahnya digunakan/ dilewati 50% lalu lintas total. Tetapi bisa saja untuk 1 arah menerima beban lalu lintas sampai dengan 70% dari total lalu lintas yang ada.
- DL adalah Faktor distribusi lajur (*Lane Distribution Factor*)
Nilai DL sesuai dengan jumlah lajur yang ada sebagai berikut :

Tabel 2.51 Faktor Distribusi Lajur

Jumlah lajur per arah	Nilai DL (%)
1	100
2	100-80
3	80-60
4 atau lebih	75-50

Sumber : Diktat Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan

GR adalah Tingkat pertumbuhan (lalu lintas) Tahunan (%) (*Annual Growth Rate*)

Rumusnya sebagai berikut :

$$G_R = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \text{ dengan } r \text{ adalah tingkat pertumbuhan}$$

4. Penentuan Δ PSI

$$\Delta\text{PSI} = \text{IPo} - \text{IPt}$$

IPt (terminal serviceability index)

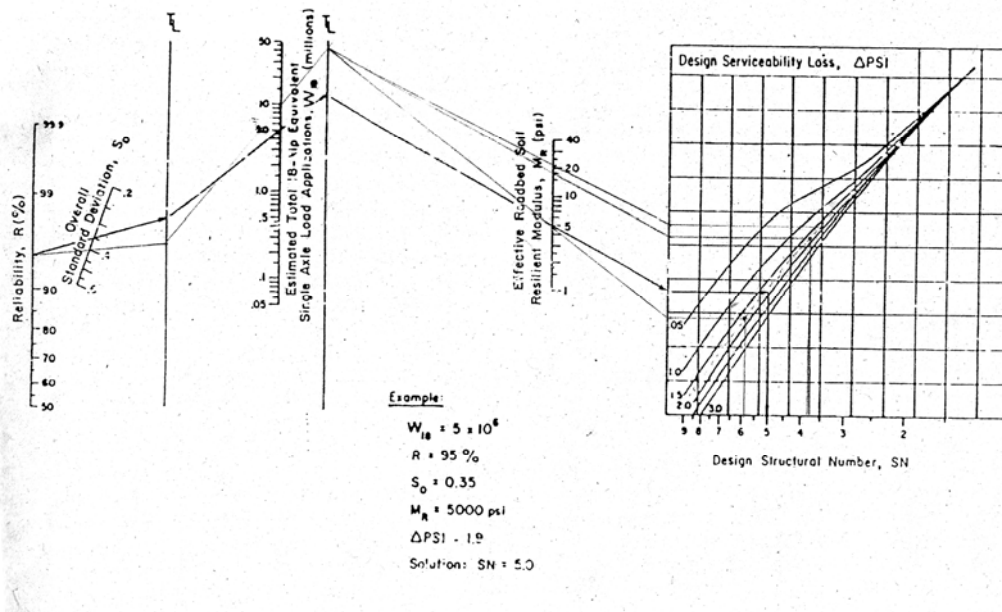
IPo (initial serviceability index)

5. Jenis lapis perkerasan yang dipakai, nilai Mr, dan koefisien lapis perkerasan :

Penentuan jenis lapis perkerasan ini berpengaruh terhadap nilai Mr dan koefisien lapis perkerasan. Nilai Mr ini nantinya akan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik.

6. Menghitung tebal perkerasan.

Dengan menggunakan nilai R, Mr, So, W₁₈, dan ΔPSI maka diperoleh nilai SN₁, SN₂ dan SN₃ dengan menggunakan grafik di bawah ini.



Gambar 2.10. Nomogram untuk mendapatkan SN (Structural Number)

Selanjutnya nilai-nilai tersebut digunakan dalam perencanaan tebal lapis perkerasan :

$$D_1 = ITP_1/a_1$$

$$ITP_1^* = D_1 \times a_1$$

$$D_2 = (ITP_2 - ITP_1^*) / (a_2 \times m_2)$$

$$ITP_2^* = D_2 \times (a_2 \times m_2)$$

$$D_3 = (ITP_3 - (ITP_2^* + ITP_1^*)) / (a_3 \times m_3)$$

Nilai tebal setiap lapis perkerasan ini dalam satuan inci. Sehingga harus dirubah dalam satuan cm.

2.5.1.3 Metode RDS (Roadworks Design System) 1993

Metode ini lebih dikenal sebagai system pemrograman jalan yang merupakan dasar dari RDM (Road Design Modul) pada IRMS (Inter-urban Road Management System). Tidak seperti 2 (dua) metode

sebelumnya yang penentuan tebal perkerasannya menggunakan nomogram, metode ini menggunakan rumus untuk menentukan tebal perkerasan. Rumus tersebut memperhitungkan daya dukung tanah dasar dalam bentuk CBR serta beban lalu lintas (ESA).

Data-data yang diperlukan untuk menentukan tebal perkerasan dengan cara RDS (*Road Design System*) adalah umur rencana, CBR tanah dasar, faktor pertumbuhan lalu lintas dan faktor jalur lalu lintas. Dalam metode ini terdapat kesamaan dengan cara SKBI yaitu pada perhitungan angka ekivalen beban sumbu kendaraan tetapi pada metode ini disebut dengan VDF (*Vehicle Damage Factor*). Setelah didapatkan nilai VDF (*Vehicle Damage Factor*) masing-masing kendaraan, selanjutnya dilakukan perhitungan beban lalu lintas (ESA (*Equivalent Standart Axle*)).

Dengan didapatkan nilai beban lalu lintas total maka dilakukan perhitungan tebal perkerasan dengan rumus sebagai berikut :

➤ Tebal Layer Capping

$$T_{cp} = 35 \text{ cm, untuk CBR} < 3\%$$

$$T_{cp} = 20 \text{ cm, untuk CBR} = 3\text{-}5\%$$

➤ Tebal Subbase (cm)

$$T_{sb} = [\{-1,4658 * \text{Log}(\text{CBR}-1,35752) * \{\text{Log}(\text{ESA})\}^2 + [6,40587 * \text{Log}(\text{CBR}) + 8,661746] * \text{Log}(\text{ESA}) - [57,47031 * \text{Log}(\text{CBR}) - 61,35236]]$$

➤ Tebal Base (cm)

$$T_b = 1,225491 * (\text{Log}(\text{ESA}))^2 + 5,082842 * \text{Log}(\text{ESA}) + 14,84231$$

➤ Tebal Surface (cm)

$$T_{sf} = 2,174015 * (\text{Log}(\text{ESA}))^2 + 2,444561 * \text{Log}(\text{ESA}) + 6,776027$$

2.5.2 Perancangan Tebal Pelapisan Tambahan/*Overlay*

Diberikan pada jalan yang telah/menjelang habis masa pelayanannya dimana kondisi permukaan jalan telah mencapai indeks permukaan akhir (IP) yang diharapkan.

Maksud dan tujuan overlay :

- a. Mengembalikan (meningkatkan) kemampuan/kekuatan struktural.
- b. Kualitas permukaan
 - Kemampuan menahan gesekan roda (*skid resistance*)
 - Tingkat kedekatan terhadap air
 - Tingkat kecepatannya mengalirkan air
 - Tingkat keamanan dan kenyamanan

2.5.2.1 Prosedur Perencanaan Tebal Overlay Menggunakan Metode Analisa Komponen

Langkah-langkah perencanaannya :

- Perlu dilakukan survey penilaian terhadap kondisi perkerasan jalan lama (*existing pavement*), yang meliputi lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah.
- Tentukan LHR pada awal dan akhir umur rencana.
- Hitung LEP, LEA, LET dan LER.
- Cari nilai ITP_R menggunakan nomogram.
- Cari nilai ITP_p dari jalan yang ada (*existing*).
- Tetapkan tebal lapis tambahan (D1)

$$\Delta ITP = ITP_R - ITP_p \quad \text{Dimana :}$$

ΔITP = selisih antara ITP_R dan ITP_p

ITP_R = ITP diperlukan sampai akhir umur rencana

ITP_p = ITP yang ada

$$\Delta ITP = D1 \times a1$$

Dimana :
 D1 = tebal lapisan tambahan
 a1 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

2.5.2.2 Prosedur Perencanaan Tebal Overlay Dengan Cara Lendutan Balik

Setelah data-data lendutan balik diperoleh maka tahap selanjutnya adalah menghitung tebal lapis ulang (*overlay*) yang dibutuhkan sesuai dengan umur jalan yang direncanakan. Langkah-langkah untuk menghitung tebal overlay ini adalah :

- Mencari data-data lalu lintas yang diperlukan pada jalan yang bersangkutan, antara lain :
 - Lalu lintas harian rata-rata (LHR) dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median, dan masing-masing arah pada jalan dengan median.
 - Jumlah lalu lintas rencana (*Design Traffic Number*) ditentukan atas dasar jumlah lajur dan jenis kendaraan.

Tabel 2.52 Prosentase Kendaraan Yang Lewat Pada Jalur Rencana

Tipe Jalan	Kendaraan Ringan *		Kendaraan Berat **	
	1 Arah (%)	2 Arah (%)	1 Arah (%)	2 Arah (%)
1 Jalur	100	100	100	100
2 Jalur	60	50	70	50
3 Jalur	40	40	50	47,5
4 Jalur	-	30	-	45
6 Jalur	-	20	-	40

keterangan * misalnya : mobil penumpang pick-up, mobil hantaran

keterangan ** misalnya : bus, truck, trailer, tracktor


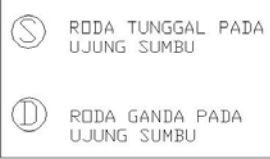
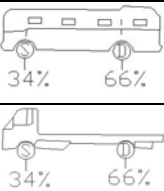
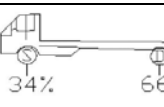
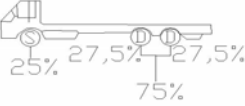

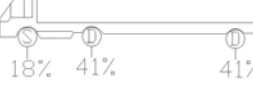

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum, 1987*

Pada jalan-jalan khusus, misalnya jalan bebas hambatan, tipe jalan 2 x 2 jalur dengan ketentuan kendaraan lebih banyak menggunakan jalur kiri, maka prosentase kendaraan yang lewat tidak diambil 50 seperti tabel di atas, tetapi diambil antara 50 – 100 dari LHR satu arah, tergantung banyaknya kendaraan yang menggunakan jalur kiri tersebut.

- Dengan menggunakan Tabel 2.55, menghitung besarnya jumlah ekuivalen harian rata-rata dari satuan 8,16 ton (18 Kip – 18.000 lbs) beban as tunggal, dengan cara menjumlahkan hasil perkalian masing-masing jenis lalu lintas harian rata-rata

tersebut, baik kosong maupun bermuatan dengan faktor ekivalen yang sesuai (faktor ekivalen kosong atau isi).

Tabel 2.53 Unit Ekivalen 8.160 Ton Beban As Tunggal (UE 18 KSAL)

Konfigurasi Sumbu & Tire	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maks (Ton)	Berat Total Maks (Ton)	UE 18 KSAL kosong	UE 18 KSAL muatan	KETERANGAN	
1,1 RF	1,5	0,5	2	0,0001	0,00045		
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,30057		
1.2L TRUCK	2,3	6	8,3	0,0013	0,21741		
1.2H TRUCK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264		
1.22 TRUCK	5	20	25	0,0044	2,74157		
1,2+2,2 TRAILLER	6,4	25	31,4	0,0085	4,99440		
1,2-2 TRAILLER	6,2	20	26,2	0,0192	6,91715		
1,2-22 TRAILLER	10	32	42	0,0327	10,183		

Sumber : Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (No. 01/MN/BM/1983), 1983

- Menentukan umur rencana dan perkembangan lalu lintas (Tabel 2.54) faktor umur rencana (N)

Tabel 2.54 Faktor Hubungan Antara Umur Rencana Dengan Perkembangan Lalu Lintas (N)

R % \ n tahun	2%	4%	5%	6%	8%	10%
1 tahun	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05
2 tahun	2,04	2,08	2,1	2,12	2,16	2,21
3 tahun	3,09	3,18	3,23	2,3	3,38	3,48
4 tahun	4,16	4,33	4,42	4,51	4,69	4,87
5 tahun	5,25	5,53	5,66	5,8	6,1	6,41
6 tahun	6,37	6,77	6,97	7,18	7,63	8,1
7 tahun	7,51	8,06	8,35	8,65	9,28	9,96
8 tahun	8,7	9,51	9,62	10,2	11,65	12
9 tahun	9,85	10,79	11,3	11,84	12,99	14,26
10 tahun	11,05	12,25	12,9	13,6	15,05	16,73
15 tahun	17,45	20,25	22,15	23,9	28,3	33,36
20 tahun	24,55	30,4	33,9	37,95	47,7	60,2

Sumber : Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (No. 01/MN/BM/1983), 1983

$$N = \frac{1}{2} \left\{ L + (L + R)^n + 2(L + R) \frac{(L + R)^{n-1}}{R} - 1 \right\}$$

- Menentukan jumlah lalu lintas secara akumulatif selama umur rencana dengan rumus sebagai berikut :

$$AE\ 18\ KSAL = 365 \times N \times \sum \begin{matrix} \text{Mobil Penumpang} \\ \text{DTN} \times \text{UE 18 KSAL} \\ \text{Tractor-Trailer} \end{matrix}$$

Keterangan :

AE 18 KSAL = *Accumulative Equivalent 18 Kip Single Axle Load*

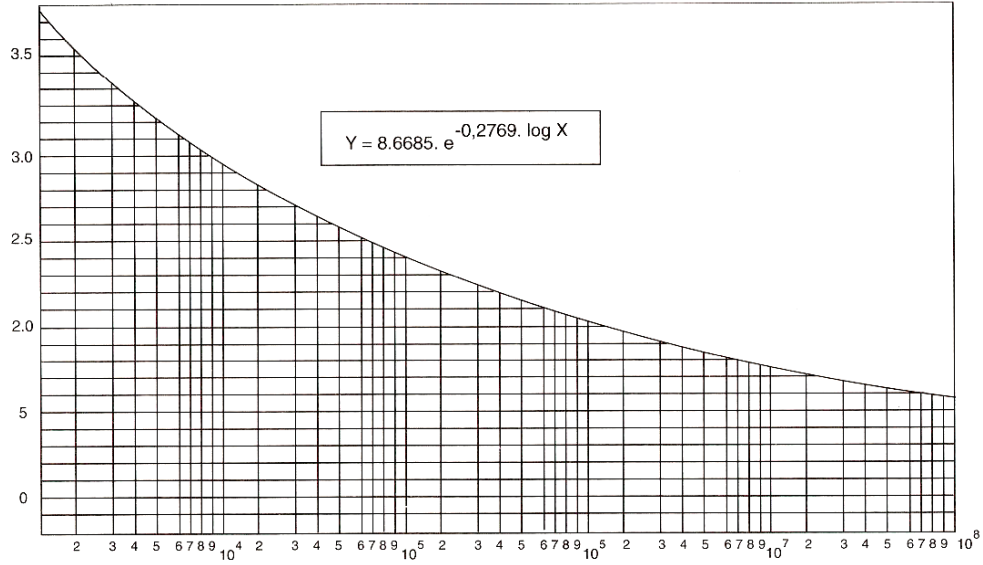
UE 18 KSAL = *Unit Equivalent 18 Kip Single Axle Load*

365 = jumlah hari dalam satu tahun

N = faktor umur rencana yang sudah disesuaikan dengan perkembangan lalu lintas

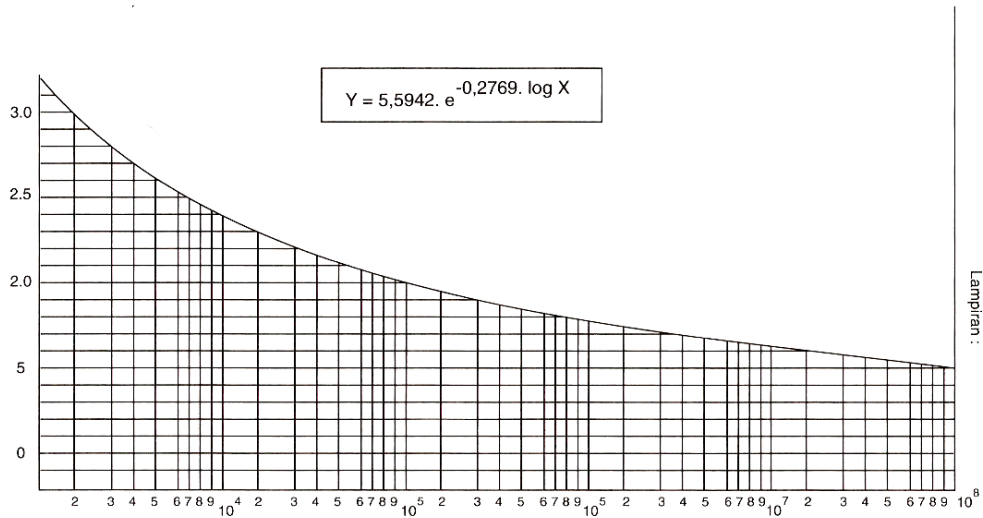
DTN = *Design Traffic Number* (Jumlah Lalu Lintas Rencana)

- Lendutan balik yang diizinkan didapat dari Gambar 2.11a (Kurva Failure) dan Gambar 2.11b (Kurva Kritis) berikut :



AE 18 KSAL (operasi)
GRAFIK NO. 3. (KRITIS)

Gambar 2.11a. Kurva Failure

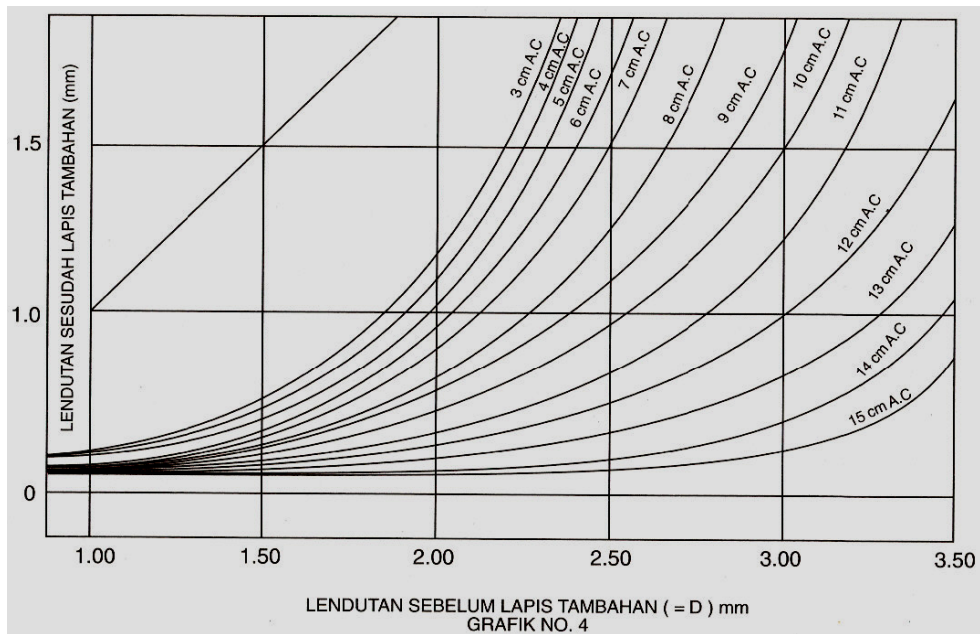


AE 18 KSAL (operasi)
GRAFIK NO. 3. (KRITIS)

Gambar 11b. Kurva Kritis

- Berdasarkan lendutan balik yang ada (sebelum diberi lapisan tambahan) dan Gambar 2.12, dapat ditentukan tebal lapis

tambahan yang nilai lendutan baliknya tidak boleh melebihi lendutan balik yang ditentukan.



Gambar 2.12. Grafik penentuan Tebal Overlay

- Lapis tambahan tersebut adalah aspal beton (faktor konversi balik-1) yang dapat diganti lapis tambahan lain dengan menggunakan faktor konversi relatif konstruksi perkerasan (Tabel 2.55).

Tabel 2.55 Faktor Konversi Kekuatan Relatif
Konstruksi Perkerasan

Konstruksi	Kekuatan Maksimum			Faktor Konversi Balik
	MS (kg)	CBR (%)	K (kg/cm ²)	
LAPIS PERUMAHAN :				
Laston	744			1.000
	590			0.875
	454			0.800
	340			0.750
Asbuton	744			0.875
	590			0.775
	340			0.650

Konstruksi	Kekuatan Maksimum			Faktor Konversi Balik
	MS (kg)	CBR (%)	K (kg/cm ²)	
Hot Polled Asphalt	340			0.750
Aspal Macadam	340			0.650
Lapen (mekanis)				0.624
Lapen (manual)				0.500
LAPIS PONDASI :				
Laston Atas	590			0.650
	454			0.626
	340			0.500
Lapen (mekanis)				0.575
Lapen (manual)				0.475
Stab.tanah dg semen		18	22	0.375
			18	0.475
Stab.tanah dg kapur			22	0.375
			18	0.325
Pondasi Macadam (basah)		100		0.350
Pondasi Macadam (kering)		60		0.300
Batu Pecah (kelas A)		100		0.350
Batu Pecah (kelas B)		80		0.325
Batu Pecah (kelas C)		60		0.300

CATATAN : - Kuat tekan stabilisasi tanah dengan semen diperiksa pada hari ke 7.

- Kuat tekan stabilisasi tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke 21.

Sumber : *Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan Dengan Alat Benkelman Beam (No. 01/MN/BM/1983), 1983*

- Untuk penggunaan kurva adalah sebagai berikut :
 Kurva Kritis ($y - 5,5942xe - 0,2769 \log x$) dipakai pada jalan-jalan yang mempunyai lapis permukaan **bukan** aspal beton (AC).
 Kurva Failure ($y - 8,6685xe - 0,2769 \log x$) dipakai pada jalan-jalan yang mempunyai lapis permukaan aspal beton (Fleksibilitas rendah dan kedap air).

2.5.2.3 Metode HRODI/RDS (*Roadworks Design System*) 1970

Metode ini menggunakan rumus untuk menentukan tebal perkerasan. Rumus tersebut memperhitungkan lendutan balik dari jalan yang ada, beban lalu lintas (ESA) pada akhir umur rencana dan keadaan jalan dalam RCI (*Road Condition Index*).

Rumus yang dipakai :

- Tebal lapis total = $t + T$

Dimana t = tebal lapis untuk mengurangi lendutan yang terjadi selama umur rencana

T = tebal lapis ulang untuk membentuk kembali bentuk permukaan yang sesuai

- $t = \frac{2,303 \log D - 0,408 (1 - \log L)}{0,08 - 0,013 \log L}$

dimana D = lendutan yang terjadi

L = Lintas ekivalen kend. Selama umur rencana

- $T = 0,001 (9 - RCI)^{4,5} + \frac{Pd \cdot Cam}{4} + T_{min}$

dimana RCI = Angka kondisi jalan saat ini (Roughmeter)

Pd = Lebar perkerasan (m)

Cam = Perubahan kemiringan melintang untuk membuat kemiringan rencana

T_{min} = Lapisan minimum penutup lama = 2 (jika $RCI > 5$, $T_{min} = 0$)

2.5.2.4 Metode RDS (*Roadworks Design System*) 1993

Metode ini adalah penyempurnaan dari metode RDS 1970, perbedaan antara kedua metode tersebut terletak pada proses perhitungan tebal lapis tambahan. Pada RDS 1970 tebal lapis tambahan ini terbagi menjadi 2 lapisan yaitu lapisan untuk mengurangi lendutan yang terjadi serta lapisan untuk membentuk kembali permukaan perkerasan yang telah aus atau rusak. Sedangkan pada RDS 1993 tebal lapis tambahan dibagi menjadi 4 lapisan, tebal *layer camber*, tebal overlay requirement, tebal *layer shaping* akibat *roughness* dan tebal minimum. Sebenarnya 4 lapisan yang terdapat pada RDS 1993 juga terdapat pada RDS 1970, tetapi pada RDS 1970 dijadikan 2 lapisan saja.

Berikut ini adalah rumus untuk menentukan tebal lapis tambahan menggunakan metode RDS 1993 :

- Tebal *Layer Camber*
 $T_c = (P_d * A_c)/4$
 P_d adalah lebar perkerasan = 6 m
 A_c adalah perubahan camber untuk pembentukan kembali lapisan lama = 1,504%
- Tebal *Overlay Requirement*
 $T_o = (2,303 * \log D - 0,408 * (1 - \log ESA)) / (0,08 - 0,013 * \log ESA)$
 Dengan D = Lendutan rata-rata dan ESA = beban lalu lintas umur rencana
- Tebal *Layer Shaping Akibat Roughness*
 $T_s = 0,01 * (9 - RCI)^{4,5}$
 Dengan RCI = 5
- Tebal Minimum
 $T_m = 2$ cm, karena merupakan proyek perbaikan.

2.6 ASPEK DRAINASE

Saluran drainase adalah bangunan yang bertujuan mengalirkan air dari badan jalan secepat mungkin agar tidak menimbulkan bahaya dan kerusakan pada jalan.

Dalam banyak kejadian, kerusakan konstruksi jalan disebabkan oleh air, baik itu air permukaan maupun air tanah. Air dari atas badan jalan yang dialirkan ke samping kiri dan atau kanan jalan ditampung dalam saluran samping (*side ditch*) yang bertujuan agar air mengalir lebih cepat dari air yang mengalir diatas permukaan jalan dan juga bertujuan untuk bisa mengalirkan kejenuhan air pada badan jalan.

Dalam merencanakan saluran samping harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Mampu mengakomodasi aliran banjir yang direncanakan dengan kriteria tertentu sehingga mampu mengeringkan lapis pondasi.
- Saluran sangat baik diberi penutup untuk mencegah erosi maupun sebagai trotoar jalan.
- Pada kemiringan memanjang, harus mempunyai kecepatan rendah untuk mencegah erosi tanpa menimbulkan pengendapan.
- Pemeliharaan harus bersifat menerus.

- Air dari saluran dibuang ke outlet yang stabil ke sungai atau tempat pengaliran yang lain
- Perencanaan drainase harus mempertimbangkan faktor ekonomi, faktor keamanan dan segi kemudahan dalam pemeliharaan.

2.6.1. Ketentuan-Ketentuan

1. Sistem drainase permukaan jalan terdiri dari : kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan, selokan samping, gorong-gorong dan saluran penangkap (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Sistem Drainase Permukaan

2. Kemiringan melintang normal (e_n) perkerasan jalan untuk lapis permukaan aspal adalah 2 % - 3 %, Sedangkan untuk bahu jalan diambil = $e_n + 2$ %.
3. Selokan samping jalan
 - Kecepatan aliran maksimum yang diizinkan untuk material dari pasangan batu dan beton adalah 1,5 m/detik.
 - Kemiringan arah memanjang (i) maksimum yang diizinkan untuk material dari pasangan batu adalah 7,5 %.
 - Pematah arus diperlukan untuk mengurangi kecepatan aliran bagi selokan samping yang panjang dengan kemiringan cukup besar. Pemasangan jarak antar pematah arus dapat dilihat pada Tabel 2.56.

Tabel 2.56. Jarak Pematah Arus

I (%)	6%	7%	8%	9%	10%
L (m)	16	10	8	7	6

Sumber : SNI 03-3424-1994

- Penampang minimum selokan samping adalah 0,50 m².

2.6.2. Perhitungan Debit Aliran

1. Intensitas curah hujan (I)

- Data yang diperlukan adalah data curah hujan maksimum tahunan, paling sedikit n = 10 tahun dengan periode ulang 5 tahun.
- Rumus menghitung Intensitas curah hujan menggunakan analisa distribusi frekuensi sbb :

$$X_T = \bar{x} + \frac{S_x}{S_n} \cdot (Y_T - Y_n)$$

$$I = \frac{a}{T_C + b}$$

Dimana :

X_T = besar curah hujan

\bar{x} = nilai rata-rata aritmatik curah hujan

S_x = standar deviasi

Y_t = variabel yang merupakan fungsi dari periode ulang, diambil = 1,4999.

Y_n = variabel yang merupakan fungsi dari n

S_n = standar deviasi, merupakan fungsi dari n

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

- Waktu konsentrasi (TC) dihitung dengan rumus :

$$T_C = t_1 + t_2$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L_0 \cdot \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167}$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \cdot v}$$

Dimana :

TC = waktu konsentrasi (menit)

t1 = waktu inlet (menit)

t2 = waktu aliran (menit)

Lo = Jarak dari titik terjauh dari saluran drainase (m)

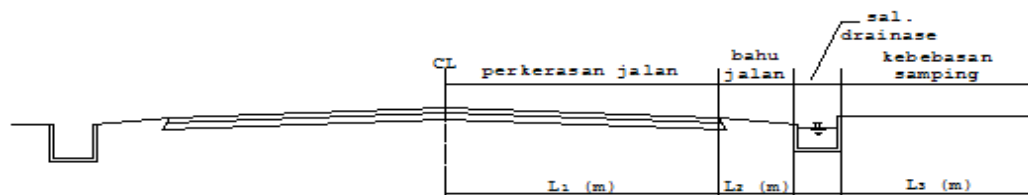
L = panjang saluran (m)

nd = koefisien hambatan, diambil 0,013 untuk lapis permukaan aspal

s = kemiringan daerah pengaliran

v = kecepatan air rata-rata di saluran (m/detik)

2. Luas daerah pengaliran dan batas-batasnya sesuai yang terlihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Batas-Batas Daerah Pengaliran

Batas daerah pengaliran yang diperhitungkan :

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \text{ (m)}$$

Dimana : L₁ = dari as jalan sampai tepi perkerasan.

L₂ = dari tepi perkerasan sampai tepi bahu jalan.

L₃ = tergantung kebebasan samping dengan panjang maksimum 100 m.

3. Harga koefisien pengaliran (C) dihitung berdasarkan kondisi permukaan yang berbeda-beda.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

Dimana : C₁ = koefisien untuk jalan aspal = 0,70.

C₂ = koefisien untuk bahu jalan (tanah berbutir kasar) = 0,65.

C_3 = koefisien untuk kebebasan samping (daerah pinggir kota) = 0,60.

A_1, A_2, A_3 = luas masing-masing bagian.

4. Untuk menghitung debit pengaliran, digunakan rumus berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dimana :

Q = debit pengaliran ($m^3/detik$)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

2.6.3. Perhitungan Dimensi Saluran

Dimensi saluran ditentukan atas dasar $F_e = F_d$

1. Luas penampang basah berdasarkan debit aliran (F_d)

$$F_d = Q / v \text{ (m}^2\text{)}$$

2. Luas penampang basah yang paling ekonomis (F_e)

➤ Saluran bentuk segi empat

Rumus :

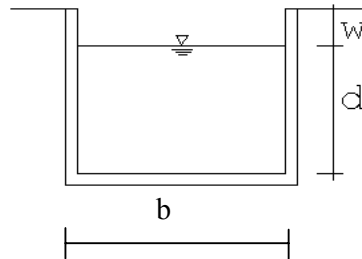
$$F_e = b \cdot d$$

$$\hookrightarrow \text{syarat : } b = 2 \cdot d$$

$$R = d/2$$

3. Tinggi jagaan (w) untuk saluran segi empat

$$w = \sqrt{0,5 \cdot d}$$



Gambar 2.15 Penampang Saluran Samping Bentuk Segi Empat

4. Perhitungan kemiringan saluran

Rumus :
$$I = \frac{V^2}{Kst^2 \times R^{4/3}}$$

Dimana : i = kemiringan saluran

v = kecepatan aliran air (m/detik)

K = koefisien kekasaran saluran, (saluran pasangan batu = 60)

R = jari-jari hidrolis saluran