

BAB II

STUDI PUSTAKA

Studi Pustaka digunakan untuk memecahkan masalah yang ada, baik untuk menganalisa faktor-faktor dan data pendukung maupun untuk merencanakan suatu konstruksi dalam hal ini konstruksi jalan tol. Dalam bab ini secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu landasan teori dan standar perencanaan.

2.1 LANDASAN TEORI

2.1.1 Pengertian Umum

Jalan tol adalah suatu lintas jalan yang merupakan alternatif dari lintas jalan umum yang ada, mempunyai spesifikasi jalan bebas hambatan dan jalan tol hanya diperuntukkan bagi pemakai jalan yang menggunakan kendaraan bermotor roda 4 atau lebih dengan membayar tol (*Pasal 14 UU No.13 tahun 1980*). Pemilikan dan hak penyelenggaraan jalan tol ada di tangan pemerintah. Maksud penyelenggaraan jalan tol adalah untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah secara adil, dimana pembinaannya memakai dana yang berasal dari masyarakat yakni melalui pembayaran jalan tol. Sedangkan tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi untuk menunjang pertumbuhan ekonomi di wilayah yang tidak tinggi tingkat perkembangannya (*Pasal 2 Peraturan Pemerintah Nomor 8 tahun 1990*).

Adapun definisi lain dari jalan tol atau jalan bebas hambatan yaitu jalan cepat dengan pengendalian jalan masuk sepenuhnya. Pengendalian jalan masuk sepenuhnya atau *full control of access* berarti bahwa kewenangan mengatur jalan masuk ditujukan untuk mengistimewakan lalu lintas yang bergerak lurus dengan menyediakan hubungan jalan masuk hanya dengan jalan umum tertentu serta dengan melarang penyeberangan sebidang atau hubungan langsung dengan jalan menuju ke rumah-rumah.

Karena penggunaan jalan ini dengan membayar tol, yaitu sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk pemakaian jalan tol, maka jalan tol harus mempunyai syarat dan spesifikasi yang melebihi jalan biasa, yaitu :

- a. Jalan tol merupakan alternatif lintas jalan umum yang ada, mempunyai kelas jalan minimal arteri primer dan pada dasarnya merupakan jalan baru.
- b. Jalan tol didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam untuk jalan tol antar kota dan 60 km/jam untuk jalan tol di wilayah perkotaan.
- c. Jalan tol ini didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terpusat tunggal kendaraan sekurang-kurangnya 8 1/5 ton atau muatan sumbu terpusat tandem kendaraan sekurang-kurangnya 14 1/2 ton.
- d. Jumlah jalan masuk ke jalan tol dibatasi secara efisien dan didesain sedemikian rupa sehingga semua jalan masuk terkendali..
- e. Tidak ada persilangan sebidang dengan jalan lain atau prasarana transportasi yang lain.
- f. Sekurang-kurangnya terdiri dari dua lajur untuk masing-masing arah.
- g. Lebar bahu jalan yang cukup untuk digunakan sebagai lajur darurat.
- h. Lalu-lintas yang tidak searah diusahakan dipisahkan suatu median
- i. Kendaraan-kendaraan hanya dapat melalui jalan tersebut dengan melewati kedua ujungnya atau melewati suatu jembatan silang layang (tidak mempunyai jalan masuk secara langsung kecuali yang terkendali).

Sedangkan keuntungan dengan adanya jalan tol ini adalah :

- Mengurangi waktu tempuh, dengan adanya jalan bebas hambatan (tol) waktu yang hilang akibat berhenti dan menunggu kendaraan lain di sebuah persimpangan dapat dihilangkan.
- Lebih aman, pengurangan konflik pada persimpangan jalan dan sepanjang kedua tepi jalan serta pemagaran tempat pejalan kaki dari daerah milik jalan dapat mengurangi jumlah kecelakaan secara nyata.
- Mengurangi biaya operasi, konsumsi bahan bakar, polusi udara dan kebisingan. Pengoperasian kendaraan yang lebih halus dan penghentian kendaraan sesedikit mungkin dapat mengurangi konsumsi bahan baker serta operasi lainnya. Berkurangnya konsumsi bahan bakar selanjutnya akan mengurangi polusi udara.

2.1.2 Tarif Tol

Besarnya tarif tol ditentukan oleh besarnya BKBOOK (Besarnya Keuntungan Biaya Operasi Kendaraan) pada jalan tol dan jalan arteri yang ada (*existing road*). Petunjuk untuk menentukan besarnya tarif jalan tol, yaitu :

- a. Diambil sebesar 35 – 45% dari penghematan BKBOOK.
- b. Besarnya tarif tol tidak boleh melebihi 70% BKBOOK.
- c. Besarnya tarif tol dihitung atas tingkat dasar, tingkat pengendalian pinjaman atau keuntungan yang diharapkan diperoleh sampai waktu tertentu yang dikaitkan dengan program pengembalian pinjaman.

Pada dasarnya pengumpulan tol ada dua sistem, yaitu sistem pengumpulan tol terbuka dan sistem pengumpulan tol tertutup.

❖ Cara Pemungutan Menggunakan Sistem Terbuka :

- Gerbang tol ditempatkan langsung pada ruas jalan tol, dimana setiap kendaraan harus berhenti untuk membayar tol tanpa banyak mengganggu arus lalu lintas.
- Biaya tol ditetapkan sebagai ongkos untuk mengurangi kelambatan dari lalu lintas.
- Beberapa kali kendaraan berhenti, tergantung pada jarak perjalanan kendaraan dan jumlah gerbang tol yang ada.
- Penambahan jalan masuk ke jalan tol dapat dilakukan tanpa menambah jumlah gerbang tol.

❖ Cara Pemungutan Menggunakan Sistem Tertutup :

Sistem pengumpulan tol tertutup adalah sistem pengumpulan tol yang kepada pemakainya diwajibkan mengambil tanda masuk pada gerbang masuk dan membayar tol pada gerbang keluar.

2.1.3 Tingkat Tarif Tol

Tarif tol umumnya dibagi menjadi dua tingkat tarif, yaitu :

- Tarif tolak (*Standard Toll*)

Tarif tolak menggambarkan tarif tol yang ditentukan sehingga memberikan keuntungan bagi pemilik dan pemakai jalan dengan jumlah pemakai jalan paling maksimal.

- Tarif tinggi (*High Toll*)

Tarif tinggi menggambarkan tarif tol yang ditentukan sehingga memberikan keuntungan bagi pemilik dan pemakai jalan tapi sudah menurunkan jumlah pemakai jalan dari jumlah maksimal yang dapat dicapai.

2.1.4 Pertimbangan Penentuan Tarif Tol

- **Penghematan Biaya Operasi Kendaraan**

Biaya operasi kendaraan sangat dipengaruhi oleh waktu perjalanan. Terjadinya kemacetan-kemacetan lalu-lintas akan menyebabkan naiknya biaya operasi, karena bahan bakar yang dipakai “sebagai contoh” menjadi tidak mangkus (*effective*). Unsur waktu juga menjadi pertimbangan, karena setiap pemakai jalan mengartikan secara tersendiri nilai waktu yang digunakannya. Kemacetan jalan, misalnya akan memperpanjang waktu perjalanan.

- **Keuntungan Tol Bagi Pemakai Jalan**

Pemakai jalan mempunyai keuntungan dari segi penghematan biaya operasi perjalanan bila dibanding melewati jalan lama atau keuntungan dari segi yang dihemat. Keuntungan yang diraih pemakai jalan harus dicapai sementara keuntungan pemilik jalan juga harus dipenuhi. Tarif tol sebagai akibat pertimbangan pemakai dan pemilikan berada pada “keuntungan bersama” dan tidak merugikan salah satu pihak yang terlibat langsung dalam jalan tol.

2.1.5 Ketergantungan Peningkatan Pendapatan Tol

Peningkatan pendapatan tol tergantung dari beberapa unsur yang tidak dapat diramalkan dengan pasti sampai saat ini. Unsur-unsur ketergantungan itu adalah :

- Tingkat inflasi

Kenaikan inflasi pada periode tertentu akan menyulitkan penentuan tarif tol. Tingkat inflasi sendiri sulit diramalkan dan bias berbeda-beda dalam periode-periode tertentu, sementara jalan terus dipakai dan keuntungan harus tetap diperoleh.

- Pertumbuhan lalu-lintas
Pertumbuhan lalu-lintas yang diperhitungkan pada awal perencanaan belum tentu cocok setelah jalan dioperasikan. Volume lalu-lintas ini berpengaruh langsung terhadap pendapatan tol.

- Keengganan memanfaatkan jalan tol
Tidak semua kendaraan yang diramalkan akan melewati jalan tol benar-benar lewat jalan tersebut, apalagi masih adanya jalan alternatif (jalan pilihan lain).

2.1.6 Pengaruh Tol terhadap Volume Lalu Lintas.

Adanya rute pilihan yang berdekatan, memungkinkan pengurangan arus lalu-lintas. Tanggapan pemakai jalan dengan adanya tol tidak dapat diperkirakan dengan pasti. Hal ini tergantung pada perbedaan antara biaya perjalanan pada rute pilihan yang tersedia pada keadaan tanpa tol dengan rute lain bila ditarik tol.

Alasan-alasan pemakai jalan :

- ✓ Nilai waktu perjalanan akan berbeda bagi setiap pemakai jalan.
- ✓ Perubahan dalam biaya operasi kendaraan dari perbaikan keadaan lalu lintas jalan pada jalan baru, berbeda untuk setiap jenis kendaraan, pemakai jalan sendiri tidak tahu pasti hubungan biaya operasi kendaraan pada jalan baru dan jalan lama.

2.1.7 Kebutuhan Lajur

Kebutuhan lajur terdiri dari lebar lajur dan jumlah lajur yang diperlukan. Sedangkan yang dimaksud dengan lebar lajur adalah bagian jalan yang direncanakan khusus untuk lajur kendaraan, lajur belok, lajur tanjakan, lajur percepatan dan atau lajur parkir. Menurut buku “Standar Perencanaan Geometrik untuk Jalan Antar Kota” tahun 1997 Dirjen Bina Marga, DPU, lebar lajur untuk berbagai klasifikasi perencanaan sebaiknya sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 2.1. Lebar lajur berdasarkan tipe jalan

Kelas Perencanaan		Lebar Lajur (m)
Tipe I	Kelas I	3,5
Tipe I	Kelas II	3,5
Tipe II	Kelas I	3,5
Tipe II	Kelas II	3,25
Tipe II	Kelas III	3,25 - 3,0

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Jika jalan tidak memiliki batas lajur, maka jumlah lajur ditentukan oleh lebar perkerasan, sesuai dengan “ Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya ” Dirjen Bina Marga, sebagai berikut.

Tabel 2.2. Lebar perkerasan berdasarkan jumlah lajur

Lebar Perkerasan (m)	Jumlah lajur (n)
$< 5,50$	1
$5,50 < L < 8,25$	2
$8,25 < L < 11,25$	3
$11,25 < L < 15,00$	4
$15,00 < L < 18,75$	5
$18,75 < L < 2$	6

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

2.1.8 Simpang Susun

Adalah suatu bentuk persimpangan jalan yang tidak sebidang dimana bangunan ini diperlukan untuk mengoptimalkan fungsi dan aksesibilitas jalan tol ke lokasi tertentu seperti pusat pertumbuhan, lokasi industri, tempat wisata, pelabuhan dan jalan masuk ke jaringan jalan nasional arteri primer, karena tujuan utama pembangunan jalan tol adalah memungkinkan lalu lintas jarak jauh dapat menghindari kota dan panjang antrian karena kemacetan lalu lintas.

Bangunan utama interchange terdiri dari overpass (jembatan / *box culvert*) dan ramp. Jenis *interchange* (simpang susun) yang sering digunakan :

- a. *Interchange* tipe T dan Y
 - Tipe terompet
 - Directional Y
- b. *Interchange* tipe *diamond*
 - *Konvensional diamond*
 - *Split diamond*
- c. *Interchange* tipe *Partial Cloverleaf*
- d. *Interchange* tipe *Cloverleaf*

2.1.9 Overpass / Underpass

Bangunan *overpass* adalah jalur utama jalan tol yang melintasi jalan lainnya, misalnya jalan lokal maupun pada bagian interchanges. Bangunan *overpass* pada umumnya berupa jembatan atau *box culvert* perlintasan jalan. Sesuai dengan pembatasan data rencana penulisan ini hanya difokuskan pada pekerjaan jalan, perencanaan jembatan dengan bentang dibawah 10 m yang masih merupakan bagian pekerjaan jalan. Dengan perancangan jembatan dan *box culvert* menggunakan referensi buku “Pedoman Perencanaan Penbebanan Jembatan Jalan Raya” SKBI 1987, Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum , “Perencanaan Beton Bertulang” berdasarkan SKSNI T-15 1991 -03 (CUR) dan “Peraturan Beton Bertulang Indonesia”.

Perencanaan jembatan / *box culvert* dibagi dua bagian, yaitu bangunan atas dan bangunan bawah :

1. Bangunan atas

- a. Tiang sandaran dan pipa sandaran
- b. Lantai kendaraan
- c. Balok diafragma
- d. Balok pratekan

2. Bangunan bawah

Pembebanan terdiri dari :

a. Muatan primer

- Beban mati yaitu terdiri dari berat gelagar dan berat lantai kendaraan
- Beban hidup yaitu terdiri dari muatan terbagi rata dan muatan garis. Muatan P dikalikan dengan koefisien kejut.
- Koefisien kejut (k) = $1 + 20/50 + L$ (PPJJR). L = bentang jembatan

b. Muatan sekunder

- Gaya rem (H) = 5 % x beban D tanpa koefisien kejut
- Muatan khusus

1. Gaya akibat gempa (peraturan Gempa 1983)

H_1 = koefisien gempa x beban mati

H_2 = Koefisien gempa x berat total abutmen

2. Gaya akibat gesekan perletakan

$H = 0,18$ x beban mati. $\rightarrow 0,18$ = koefisien gesekan (f)

3. Pondasi

Jenis pondasi harus disesuaikan dengan kondisi tanah setempat, seperti kekuatan dan daya dukung tanah tersebut.

2.1.10 *Ramp* (jalan penghubung)

Ramp adalah suatu segmen jalan yang menghubungkan antara ruas jalan tol dengan jalan lain sehingga memungkinkan kendaraan untuk dapat masuk atau keluar dari jalan tol. Lebar jalur ini minimal 3,5 m dan untuk *ramp* dengan lalu lintas dua arah harus menggunakan median.

Perencanaan geometrik pada jalan penghubung adalah sama dengan yang digunakan pada perencanaan jalan utama, sedangkan batasan-batasan persyaratannya seperti pada tabel-tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Lebar bahu jalan pada ramp

Tipe Jalan	KIRI	KANAN
1 lajur 1 arah	2,50 m	1,00 m
2 lajur 1 arah	0,75 m	0,75 m

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997

Tabel 2.4 Standart minimum jari-jari & lengkung vertikal pada ramp

Kecepatan rencana (km/jam)	80	60	50	40	35	30	25
Jari-jari (mm)	3000 s/d 4000	1400 s/d 1000	800 s/d 700	450	350	250	200
Panjang lengkung minimum (m)	70	50	40	35	30	25	15

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997

Tabel 2.5 Lajur percepatan

Kecepatan rencana (km/jam)	100	80	60	50	40
Panjang standar lajur percepatan tanpa taper (m)	180	160	120	90	50
Panjang standar taper (m)	60	50	45	40	40

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997

Tabel 2.6 Lajur perlambatan

Kecepatan rencana (km/jam)	100	80	60	50	40
Panjang standar lajur percepatan tanpa taper (m)	90	80	70	50	30
Panjang standar taper (m)	60	50	45	40	40

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997

Tabel 2.7 Koefisien penyesuaian panjang standar ramp

Kemiringan rata-rata (%)	$0 < x < 2$	$2 < x < 3$	$3 < x < 4$	>4
Angka koefisien	1.00	1.2	1.3	1.4

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997

Panjang lajur standar ramp di atas apabila terjadi penurunan atau pendakian harus dilakukan penyesuaian yaitu panjang lajur standarnya dikali angka koefisien.

2.1.11 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap yang direncanakan di dalam perencanaan disini adalah :

1. Bangunan pengaman

Dipergunakan untuk melindungi bagian jalan agar pengguna jalan merasa aman, terutama pada medan yang curam, tikungan yang tajam dan kondisi mau memasuki jembatan. Bentuk bangunan ini berupa guard rail, guide post, dan lain-lain. Bentuk dan tipe sesuai dengan standart Bina Marga.

2. Dinding penahan tanah (talud)

Dipergunakan untuk mencegah terjadinya longsor dan dibuat dari pasangan batu kali.

3. Marka dan rambu – rambu.

Merupakan pelengkap yang sangat dibutuhkan untuk sarana informasi. Yaitu berupa larangan, peringatan, petunjuk dan anjuran bagi pengguna jalan agar memberikan keamanan dan kenyamanan berlalu lintas dan anjuran bagi pengguna jalan agar memberikan keamanan dan kenyamanan berlalu lintas.

2.2 STANDAR PERENCANAAN

Acuan utama standar perencanaan jalan tol ini yaitu Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) tahun 1997 dan Standar Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997. Dalam standar perencanaan ini, secara garis besar dibedakan menjadi dua yaitu dari aspek teknis dan aspek kelayakan ekonomi.

Aspek teknik berkaitan dengan lalu lintas dan biaya-biaya untuk pergerakan lalu lintas, termasuk di dalamnya aspek penyelidikan tanah, geometri, perkerasan jalan serta aspek hidrologi dan drainase. Pada dasarnya aspek teknis ini merupakan usaha untuk menjawab apakah perencanaan jalan tol ini cukup andal, aman dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.2.1 Aspek Lalu Lintas

2.2.1.1 Kapasitas jalan tol

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang melewati suatu titik pada jalan bebas hambatan (jalan tol) yang dapat dipertahankan persatuan jam dalam kondisi yang berlaku. Untuk jalan bebas hambatan tak terbagi, kapasitas adalah arus maksimum dua arah (kombinasi kedua arah), untuk jalan bebas hambatan terbagi kapasitas adalah arus maksimum per lajur dan dianggap masing-masing jalan merupakan jalan satu arah yang terpisah. Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas jalan bebas hambatan adalah sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \text{ (untuk jalan tol)}$$

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \text{ (untuk jalan luar kota)}$$

Ket : C = kapasitas (smp/jam)

C_o = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah (hanya untuk jalan bebas hambatan tak terbagi)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping.

Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), untuk itu diperlukan konversi dengan menggunakan angka ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk :

- kendaraan berat meenengah (MHV) yang meliputi truk 2 gandar dan bis kecil
- bis besar (LB)
- truk besar (LT) yang meliputi truk 3 gandar dan truk kombinasi.
- Kendaraan ringan (LV) meliputi kendaraan penumpang mini bis, truk, pick-up dan jeep.

Tabel di bawah merupakan nilai untuk masing-masing faktor dan kapasitas dasar dari persamaan kapasitas jalan luar kota dan jalan tol.

Tabel 2.8 Kapasitas dasar jalan luar kota 2 lajur 2 arah tak terbagi (2/2 UD)

Tipe Jalan / Tipe alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam)
Dua lajur tak terbagi	
- Datar	3100
- Bukit	3000
- Gunung	2900

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.9 Kapasitas dasar jalan luar kota 4 lajur 2 arah (4/2)

Tipe Jalan / Tipe alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam/lajur)
Empat lajur terbagi	
- Datar	1900
- Bukit	1850
- Gunung	1800
Empat lajur tak terbagi	
- Datar	1700
- Bukit	1650
- Gunung	1600

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.10 Faktor Penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu-lintas (FC_w)

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

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.11 Faktor Penyesuaian Kapasitas akibat Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP % - %		50 - 50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30
FCsp	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,92	0,90

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.12 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FC_{SF})

Tipe Jalan	Kelas hambatan samping	Faktor Penyesuaian akibat hambatan samping (FC_{sf})			
		Lebar bahu efektif W_s			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,99	1,00	1,01	1,03
	L	0,96	0,97	0,99	1,01
	M	0,93	0,95	0,96	0,99
	H	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH	0,88	0,90	0,93	0,96
2/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
4/2 UD	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

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.13 Faktor penyesuaian untuk ukuran kota (FC_{CS})

Ukuran kota (juta penduduk)	FC_{CS}
< 0,1	0,86
0,1-0,5	0,90
0,5-1,0	0,94
1,0-3,0	1,00
> 3,0	1,04

Sumber : MKJI Jalan Perkotaan 1997

Tabel 2.14 Kapasitas dasar jalan tol terbagi

Tipe Jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam/lajur)
Empat dan enam lajur terbagi	
- Datar	2300
- Bukit	2250
- Gunung	2150

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

Tabel 2.15 Kapasitas dasar jalan tol tak terbagi

Tipe Jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam)
Dua lajur tak terbagi	
- Datar	3400
- Bukit	3300
- Gunung	3200

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

Tabel 2.16 Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas jalan tol (FC_w)

Tipe jalan bebas hambatan	Lebar efektif jalur lalu lintas W _c (m)	FC _w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur 3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua lajur tak terbagi	Total kedua arah 6,5	0,96
	7	1,00
	7,5	1,04

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

Tabel 2.17 Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP % - %		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{sp}	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

2.2.1.2 Kapasitas Jalur Penghubung (Ramp)

Rumus diatas memberi kapasitas suatu segmen jalan bebas hambatan dengan penampang melintang tertentu. Kapasitas suatu jalur penghubung pada segmen yang sama (C_R) dapat diperkirakan seperti diuraikan di bawah :

C_R = Nilai terendah dari pernyataan – pernyataan berikut :

- 1) Kapasitas jalur penghubung itu sendiri, sebagai fungsi penampang melintang dan alinyemen jalur penghubung tersebut.
- 2) Perbedaan antara kapasitas C dan arus Q pada lajur kiri jalan bebas hambatan.

$$C_R = C - Q$$

Kapasitas lajur kiri jalan bebas hambatan (C) dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar kapasitas, sedangkan arus pada lajur kiri jalan bebas hambatan (Q) biasanya bervariasi sesuai arus total dan derajat kejenuhan segmen jalan bebas hambatan. Untuk arus sangat rendah (yang tidak diamati), hampir seluruh lalu lintas mungkin akan menggunakan lajur kiri.

2.2.1.3 Analisa Pertumbuhan LHR

Pola perjalanan (trip distruction) sangat dipengaruhi beberapa faktor, yaitu faktor sosial kependudukan, aktifitas ekonomi, kepemilikan kendaraan, dan karakteristik tata guna lahan dalam wilayah studi. Dimana tingkat pertumbuhan setiap daerah sangat menentukan tingkat penyebaran perjalanan dari suatu daerah ke daerah yang lain. Dengan demikian arus lalu-lintasnya pun sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut diatas. Dengan pertumbuhan setiap daerah yang berbeda mengakibatkan perubahan pola distribusi perjalanan yang berbeda pula dibandingkan dengan pola yang ada sekarang.

$$Y = a + bx$$

Keterangan :

Y = Besar LHR yang di perkirakan

x = PDRB

a dan b = koefisien regresi linier

➤ Menghitung nilai a dan b, dengan persamaan :

$$b = \{ n \sum xy - \sum x \cdot \sum y \} / \{ n \sum x^2 - (\sum x)^2 \}$$

$$a = \{ \sum y - b \sum x \} / n$$

Keterangan :

n = Umur rencana atau jumlah data

x = Unit tahun yang dihitung

y = LHR pada tiap unit tahun berdasarkan data

a dan b = koefisien dari persamaan regresi linier

Dibuat grafik hubungan antara LHR dan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto), dengan PDRB sebagai absis dan LHR sebagai ordinatnya. Dari grafik tersebut didapat persamaan regresi linier yang dinyatakan dengan persamaan :

$$LHR_n = a + b (PDRB_n)$$

Dengan persamaan tersebut dapat diketahui LHR pada tahun ke-n setelah dimasukan nilai dari PDRB tahun ke-n.

2.2.1.4 Kecepatan Arus Bebas (FV)

Kecepatan arus bebas (FV) didefinisikan sebagai kecepatan pada tingkat arus nol, sesuai dengan kecepatan yang akan digunakan pengemudi pada saat mengendarai kendaraan bermotor tanpa dihalangi kendaraan bermotor lainnya di jalan bebas hambatan.

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

$$FV = (FV_0 + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{RC}$$

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

FV₀ = kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan (km/jam).

FV_w = penyesuaian untuk lebar efektif jalur lalu-lintas (km/jam).

FFV_{SF} = faktor penyesuaian untuk kondisi hambatan samping.

FFV_{RC} = faktor penyesuaian untuk kelas fungsi jalan.

Sedangkan untuk jalan tol adalah sebagai berikut :

$$FV = FV_0 + FV_w$$

FV = Kecepatan arus bebas pada kondisi lapangan (km/jam)

FV₀ = Kecepatan arus bebas dasar (km/jam)

FV_w = Penyesuaian untuk lebar efektif jalur lalu lintas (km/jam)

Tabel dibawah merupakan nilai dari masing-masing faktor penyesuaian dan kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan pada jalan luar kota dan jalan tol.

Tabel 2.18 Kecepatan arus bebas dasar untuk jalan luar kota (FV_o)

Tipe jalan / Tipe alinyemen / (kelas jarak pandang)	Kecepatan arus bebas dasar (km/jam)				
	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan berat menengah (MHV)	Bus besar (LB)	Truk besar (LT)	Sepeda motor (MC)
Enam lajur terbagi					
- Datar	83	67	86	64	64
- Bukit	71	56	68	52	58
- Gunung	62	45	55	40	55
Empat lajur terbagi					
- Datar	78	65	81	62	64
- Bukit	68	55	66	51	58
- Gunung	60	44	53	39	55
Empat lajur tak terbagi					
- Datar	74	63	78	60	60
- Bukit	66	54	65	50	56
- Gunung	58	44	52	39	53
Dua 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 Jalan Luar Kota 1997.

Tabel 2.19 Faktor Penyesuaian kecepatan arus bebas akibat lebar jalur lalu-lintas (FV_w)

Tipe jalan	Lebar efektif jalur lalu-lintas (W_e) (m)	FV_w (km/jam)		
		Datar : SDC = A,B	- Bukit: SDC = A,B,C - Datar : SDC = C	Gunung
Empat lajur dan Enam lajur terbagi	Per lajur			
	3,00	-3	-3	-2
	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	0	0
Empat lajur tak terbagi	Per lajur			
	3,00	-3	-2	-1
	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	0	0
Dua lajur tak terbagi	Total			
	5	-11	-9	-7
	6	-3	-2	-1
	7	0	0	0
	8	1	1	0
	9	2	2	1
	10	3	3	2
11	3	3	2	

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.20 Faktor Penyesuaian akibat Hambatan Samping dan Lebar Bahu(FFV_{SF})

Tipe Jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	FFV _{SF}			
		Lebar bahu efektif W _s (m)			
		≤ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Empat lajur terbagi 4/2 UD	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
Empat lajur tak terbagi 4/2 D	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
Dua 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

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.21 Faktor Penyesuaian Akibat Kelas Fungsional Jalan dan Guna Lahan (FFV_{RC})

Tipe Jalan	Faktor penyesuaian FFV _{RC}				
	Pengembangan samping jalan (%)				
	0	25	50	75	100
Empat 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
Empat 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
Dua 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

Sumber : MKJI Jalan Luar Kota 1997

Tabel 2.22 Faktor Penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas pada jalan tol (FV_w)

Tipe jalan bebas hambatan	Lebar efektif jalur lalu lintas (Wc)	FV _w (km/jam)		
		Tipe Alinyemen		
		Datar	Bukit	Gunung
Empat lajur terbagi	Per lajur			
Enam lajur terbagi	3,25	-1	-1	-1
	3,50	0	-1	0
	3,75	2	0	1
Dua lajur tak terbagi	Total			
	6,5	-2	-1	-1
	7,0	0	0	0
	7,5	1	1	1

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

Tabel 2.23 Kecepatan arus bebas dasar pada jalan bebas hambatan

Tipe jalan bebas hambatan / Tipe alinyemen	Kecepatan arus bebas dasar (Fvo) (km/jam)			
	Kendaraan ringan LV	Kendaraan menengah MHV	Bus besar LB	Truk besar LT
Enam lajur terbagi				
- Datar	91	71	93	66
- Bukit	79	59	72	52
- Gunung	65	45	57	40
Empat lajur terbagi				
- Datar	88	70	90	65
- Bukit	77	58	71	52
- Gunung	64	45	57	40
Dua lajur tak terbagi				
- Datar SDC : A	82	66	85	63
- Datar SDC : B – C	78	63	81	60
- Bukit	70	55	68	51
- Gunung	62	44	55	39

Sumber : MKJI Jalan Bebas Hambatan 1997

2.2.1.5 Kinerja/Performansi Arus Lalu Lintas

Kecepatan dan derajat kejenuhan dipakai sebagai indikator kinerja/performansi arus lalu lintas. Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio terhadap kapasitas. Hal ini merupakan ukuran yang banyak digunakan untuk menunjukkan apakah suatu segmen jalan bebas hambatan akan mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = Q / C$$

Dimana Q = arus lalu lintas (smp/jam)

C = kapasitas (smp/jam)

DS = derajat kejenuhan

Apabila dari perhitungan didapatkan $DS < 0,75$ maka jalan tersebut masih dapat melayani kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut dengan baik. Sedangkan apabila diperoleh harga DS

$\geq 0,75$ maka jalan tersebut sudah tidak mampu melayani banyaknya kendaraan yang melewatinya.

Sebagai ukuran kinerja utama dari segmen jalan bebas hambatan digunakan kecepatan tempuh/perjalanan, karena mudah dimengerti dan diukur serta merupakan masukan bagi biaya pemakaian jalan bebas hambatan pada analisa ekonomi. Kecepatan tempuh didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata ruang dari kendaraan ringan sepanjang segmen jalan bebas hambatan.

$$V = L / TT$$

Dimana V = kecepatan rata-rata ruang kendaraan ringan (km/jam)

L = panjang segmen (km)

TT = waktu tempuh rata-rata kendaraan ringan sepanjang segmen (jam)

2.2.1.6 Derajat Iringan

Iringan adalah kondisi lalu lintas bila kendaraan bergerak dalam antrian (peleton) dengan kecepatan yang sama karena tertahan oleh kendaraan yang ada di depannya (pimpinan peleton). Indikator lebih lanjut yang berguna untuk perilaku lalu lintas pada segmen jalan bebas hambatan (hanya pada jalan bebas hambatan dua-lajur dua-arah tak terbagi) adalah derajat iringan yang terjadi, yaitu rasio arus kendaraan yang bergerak dalam peleton (kendaraan dengan ‘waktu antara’ kurang atau sama dengan 5 detik terhadap kendaraan terdekat yang berjalan searah didepannya) dengan arus total (kend/jam) pada arah yang dipelajari.

2.2.1.7 Lalu Lintas yang Teralihkan ke Jalan Tol

Data lalu lintas adalah data pokok yang digunakan untuk perencanaan suatu jalan. Untuk menentukan volume lalu lintas alihan dari jalan biasa ke jalan tol, maka terlebih dahulu harus diketahui Biaya Perjalanan / Operasi Kendaraan (BOK) untuk jalan lama maupun jalan baru (tol). Selain itu juga harus diketahui volume lalu lintas untuk jalan lama dan jalan baru.

Waktu yang ditempuh untuk melewati jalan baru diperoleh dengan persamaan :

$$t \text{ (baru)} = \frac{S}{V} \text{ (menit)}$$

Ket :

S = Jarak (km)

V = Kecepatan (km/jam)

Kemudian dapat dicari t (time ratio) dengan menggunakan persamaan :

$$t = \frac{\text{waktu melewati jalan baru antar daerah pengaruh}}{\text{waktu melewati jalan lama tercepat antar daerah pengaruh}}$$

Dengan menggunakan *diversion curve* yaitu kurva hubungan antara time ratio dengan persen (%) lalu lintas teralihkan tanpa tol, maka diperoleh persentase lalu lintas yang teralihkan ke tol.

Setelah diperoleh persentase lalu lintas yang teralihkan ke jalan tol, kemudian dicari biaya perjalanan melalui jalan tol, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- ◆ Menghitung koefisien kekenyalan (e), yaitu koefisien yang menunjukkan pengaruh biaya perjalanan terhadap volume lalu lintas, dengan menggunakan persamaan :

$$\left[\frac{VB_{ij}}{VA_{ij}} \right] = \left[\frac{CA_{ij}}{CB_{ij}} \right]^e$$

Dimana : VB_{ij} = Volume lalu lintas melalui jalan lama.

VA_{ij} = Volume lalu lintas melalui jalan baru (jalan tol)

CA_{ij} = Biaya perjalanan jenis suatu kendaraan melalui jalan baru

CB_{ij} = Biaya perjalanan jenis suatu kendaraan melalui jalan lama

e = Koefisien kekenyalan

- ◆ Setelah diperoleh e , maka λ dapat dicari dengan persamaan :

$$\frac{VA_{ij}}{VA_{ij} + VB_{ij}} = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(C_{Bij} - C_{Aij})}}$$

- ◆ Menghitung kembali biaya perjalanan melalui jalan tol yang sudah termasuk tarif tol, dengan persamaan :

$$C'_{Aij} = C_{Aij} + \text{tarif tol}$$

- ◆ Membandingkan biaya pengoperasian kendaraan yang melalui jalan baru (jalan tol) dengan biaya pengoperasian kendaraan melalui jalan lama.

2.2.2 Aspek Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah untuk mengetahui daya dukung tanah setempat. Untuk mendapatkan data-data dan mekanis tanah tersebut dilakukan pengeboran di lapangan dan pengambilan sampel untuk dilakukan pengujian laboratorium. Selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran dan sifat-sifatnya dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengujian di laboratorium.

Pengujian laboratorium mekanika tanah diperlukan untuk keperluan :

- Analisis penurunan
- Analisis stabilitas lereng
- Daya dukung tanah dasar

Adapun data-data maupun bahan yang dibutuhkan untuk keperluan perancangan jalan adalah sebagai berikut :

A. Sifat fisik tanah

- Kadar air asli (W)
- Berat isi (γ)
- Berat jenis (Gs)
- Gradasi butir (%#)
- Batas atterberg (LL, PL, PI)

B. Sifat mekanika tanah

- Konsolidasi (Cc, Cv, k)
- Triaxial (ϕ , c)
- Pemadatan (Wopt, γ)
- CBR

2.2.3 Aspek Geometrik Jalan Tol

Yang menjadi dasar perencanaan geometrik jalan adalah sifat gerakan dan ukuran kendaraan, sifat pengemudi yang mengendalikan gerak kendaraannya dan karakteristik arus lalu lintas. Standart desain geometrik yang digunakan adalah seperti yang tercantum dalam “Standart Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Luar Kota” yang dikeluarkan oleh

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan standart-standart yang digunakan secara internasional dari **AASHTO**. Elemen dari perencanaan geometrik jalan yaitu :

2.2.3.1 Perencanaan Trase

Dalam merencanakan desain suatu jalan, sebagian besar karakteristik desain secara pendekatan terhadap desain tersebut, yaitu standarisasi yang cukup luas dengan alasan-alasan yang tepat. Hal ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- Keinginan untuk memenuhi standar minimal terhadap angka keamanan.
- Kesamaan syarat-syarat suatu situasi ke situasi lainnya
- Untuk mendapatkan petunjuk terhadap aspek-aspek yang memerlukan pertimbangan.

Segi-segi desain yang utama sebuah jalan adalah lokasi dan penampang melintangnya. Lokasi sebagian ditentukan dengan alinyemen horisontal, yaitu posisi dalam bidang horisontal relatif terhadap suatu koordinat sumbu. Alinyemen horisontal dikenal dengan nama trase jalan. Desain ini juga ditentukan oleh alinyemen vertikal, yaitu perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan atau melalui tepi jalan dan sering disebut dengan penampang memanjang jalan.

2.2.3.2 Alinyemen Horisontal

Alinyemen horisontal merupakan proyeksi sumbu jalan tegak lurus bidang horisontal yang terdiri dari susunan garis lurus (tangen) dan garis lengkung (busur lingkaran, spiral). Bagian lengkung merupakan bagian yang perlu mendapat perhatian karena pada bagian tersebut dapat menjadi gaya sentrifugal yang cenderung melemparkan kendaraan keluar. Untuk mereduksi pengaruh perubahan geometri dari garis lurus menjadi lengkung lingkaran maka dibuat lengkung peralihan. Pada bagian ini perubahan antara bagian yang lurus dan lengkung dapat dilakukan secara berangsur-angsur sehingga kenyamanan pemakai jalan terjamin.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan lengkung horisontal adalah sebagai berikut :

a. Superelevasi (e)

Superelevasi merupakan kemiringan melintang permukaan jalan pada tikungan dengan maksud untuk mengimbangi pengaruh gaya sentrifugal di tikungan sehingga kendaraan aman, nyaman dan stabil ketika melaju maksimum sesuai kecepatan rencana pada tikungan tersebut.

b. Jari-jari tikungan

Jari-jari minimum tikungan (R_{\min}) dapat ditentukan dengan rumus berikut :

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

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

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e_{\max} = superelevasi maksimum (%)

f_{\max} = koefisien gesek maksimum, $f = 0,14 - 0,24$

Tabel 2.24 di bawah merupakan jari-jari minimum yang disyaratkan dalam perencanaan alinyemen horizontal.

Tabel 2.24 Panjang Jari-jari minimum

Kecepatan Rencana V_R (km / jam)	Jari – jari minimum R_{\min} (m)
120	600
100	370
80	210
60	110
50	80
40	50
30	30
20	15

Sumber : *Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997*

c. Lengkung peralihan

Ada tiga macam lengkung pada perencanaan alinyemen horisontal yaitu :

1. Full Circle

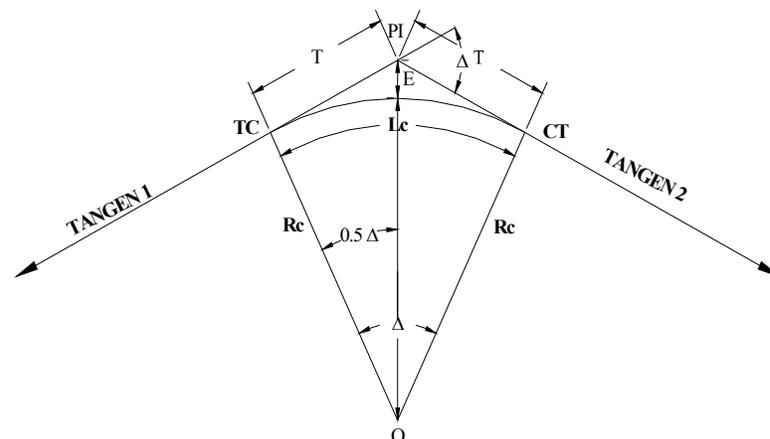
Tikungan jenis *full circle* umumnya digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari tikungan besar dan sudut tangen kecil. Pada umumnya tipe tikungan ini dipakai pada daerah dataran, tetapi juga tergantung pada besarnya kecepatan rencana dan radius tikungan. Tabel 2.25 menunjukkan batas kecepatan rencana dan jari-jari minimum yang diperbolehkan dalam tikungan tipe *Full Circle*.

Tabel 2.25 Jari-jari minimum tanpa lengkung peralihan

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari – jari minimum (m)
120	2000
100	1500
80	1100
60	700
40	300
30	100

Sumber : Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Sketsa tikungan *full circle* dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Sketsa tikungan *full circle*

Dalam mendesain tikungan jenis *full circle*, digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$T = R_c \cdot \tan(\Delta/2)$$

$$E = T \cdot \tan(\Delta/4)$$

$$L_c = \Delta \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_c) / 360$$

$$= 0,01745 \cdot \Delta \cdot R_c$$

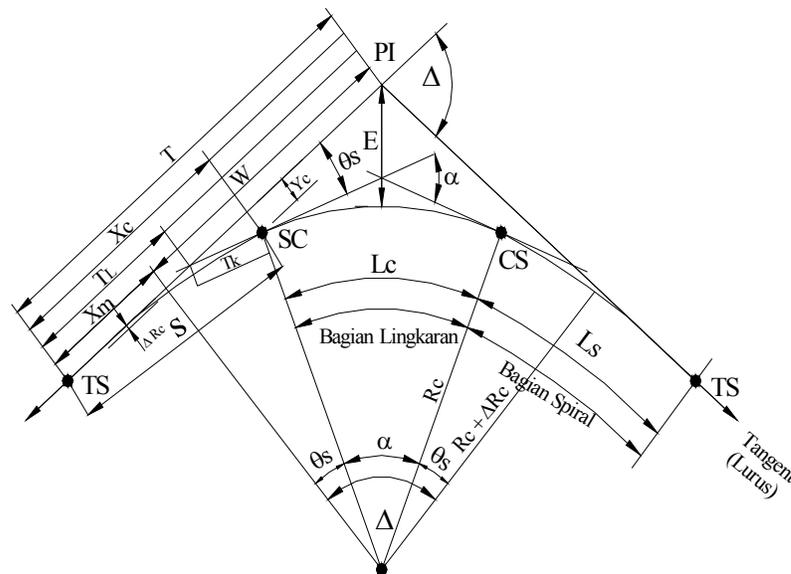
Keterangan : Δ = Sudut luar di PI

TC = Titik awal tikungan

- PI = Titik perpotongan tangen
- CT = Titik akhir tikungan
- O = Titik pusat lingkaran
- T = Panjang tangen (jarak TC – PI atau jarak PI – CT)
- R_c = Jari-jari lingkaran (jarak O – TC atau ke CT atau ke setiap busur lingkaran)

2. *Spiral – Circle – Spiral*

Tikungan jenis *Spiral – Circle – Spiral* (Gambar 2.2) digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari dan sudut tangen yang sedang. Pada tikungan ini, perubahan dari tangen ke lengkung lingkaran dijumpai dengan adanya lengkung spiral (L_s). Fungsi dari lengkung spiral adalah menjaga agar perubahan gaya sentrifugal yang timbul pada waktu kendaraan memasuki atau meninggalkan tikungan dapat terjadi secara berangsur-angsur. Di samping itu, hal ini juga dimaksudkan untuk membuat kemiringan transisi lereng jalan menjadi superelevasi tidak terjadi secara mendadak dan sesuai dengan gaya sentrifugal yang timbul sehingga keamanan dan kenyamanan terjamin.



Gambar 2.2 Sketsa tikungan *spiral – circle – spiral*

L_s ditentukan dari 4 rumus di bawah ini dan diambil nilai yang terbesar.

1. Berdasarkan waktu tempuh maksimum di lengkung peralihan.

$$L_s = V_R \cdot T / 3,6 \quad ; T \text{ diambil } 3 \text{ detik}$$

2. Berdasarkanantisipasi gaya sentrifugal.

$$L_s = \frac{0,022 \cdot V_R^3}{R_c \cdot C} - \frac{2,727 \cdot V_R \cdot e}{C} \quad ; C \text{ diambil } 1 - 3 \text{ m/detik}^3$$

3. Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian.

$$L_s = \frac{(e_{\max} - e_n) \cdot V_R}{3,6 \cdot r_e} \quad ; r_e \text{ diambil } 0,035 \text{ m/detik}$$

4. Berdasarkan pada pencapaian kemiringan.

$$L_s = B \cdot m \cdot e \quad (\text{sumber : Diktat kuliah Ir. Djoko Purwanto, MS})$$

Keterangan : B = Lebar perkerasan (jalur / arah)

e = Kemiringan melintang jalan

m = Seper landai relatif, yang besarnya :

Tabel 2.26 Nilai m

Kecepatan rencana	30	40	50	60	80	100	120
Landai relatif maksimum	1/100	1/120	1/140	1/160	1/200	1/240	1/280

Sumber : Diktat kuliah Ir. Djoko Purwanto, MS

Rumus elemen-elemen tikungan adalah sebagai berikut :

$$-T_s = [(R_c + p) \cdot \tan(\Delta/2)] + k \quad -E_s = \frac{R_c + p}{\cos \Delta/2} - R_c$$

$$-L_c = \frac{\Delta + (2 \cdot \theta_s)}{180} \cdot (\pi \cdot R_c) \quad -L_t = (2 \cdot L_s) + L_c \leq 2 \cdot T_s$$

$$-X_c = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40R_c^2} \right) \quad -Y_c = \frac{L_s^2}{6R_c}$$

$$-\theta_s = \frac{28,648 \times L_s}{R_c} \quad -S = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2}$$

$$-\Delta R_c = Y_c + R_c (\cos \theta_s - 1) \quad -X_m = X_c - R_c \times \sin \theta_s$$

$$-W = (R_c + \Delta R_c) \times \tan \frac{\Delta}{2} \quad -T = X_m + W$$

$$-\alpha = \Delta - 2\theta_s \quad -L_c = R_c \times \pi \times \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}$$

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

$$-T_l = X_c - Y_c \times \text{Ctg } \theta_s$$

$$-T_k = \frac{Y_c}{\sin \theta_s}$$

$$-L_t = L_c + 2L_s$$

Dimana : TS = Titik awal spiral (titik dari tangen ke *spiral*)

ST = Titik akhir *spiral*

SC = Titik dari *spiral* ke *circle*

CS = Titik dari *circle* ke *spiral*

PI = Titik perpotongan tangen

L_s = Panjang *spiral*

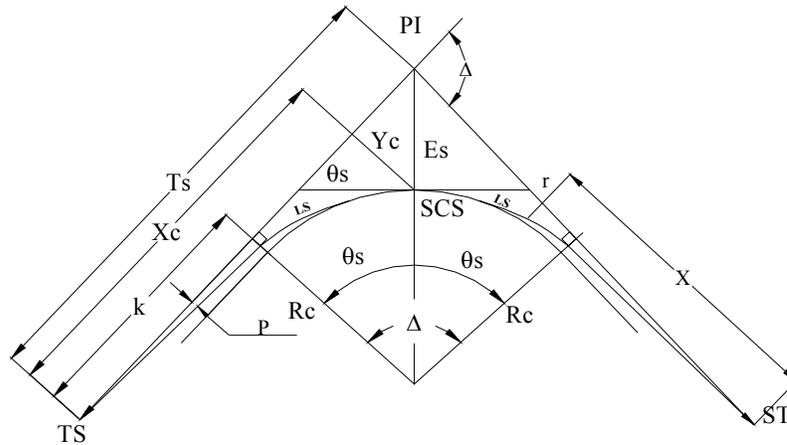
R_c = Jari-jari lingkaran (jarak O – TC atau ke CT atau ke setiap titik busur lingkaran)

L_c = Panjang *circle* (busur lingkaran)

θ_s = Sudut – *spiral*

3. *Spiral – Spiral*

Tikungan jenis spiral-spiral digunakan pada tikungan tajam dengan sudut tangen yang besar. Pada prinsipnya lengkung *spiral-spiral* (Gambar 2.3) sama dengan lengkung *spiral-circle-spiral*. Hanya saja pada tikungan *spiral-spiral* tidak terdapat busur lingkaran sehingga nilai lengkung tangen (L_t) adalah 2 kali lengkung spiral L_s . Pada nilai $L_c = 0$ atau $S_c = 0$ tidak ada jarak tertentu dalam masa tikungan yang sama miringnya sehingga tikungan ini kurang begitu bagus pada superelevasi.



Gambar 2.3 Sketsa tikungan spiral – spiral

Rumus yang digunakan :

$$L_s = (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \theta_s) / 180$$

$$T_s = [(R + p) \cdot \tan \Delta / 2] + k$$

$$E_s = [(R + p) \cdot \sec \Delta / 2] + k$$

$$L_t = (2 \cdot L_s) + L_c, \text{ dengan } L_c = 0, L_t = 2 \cdot L_s$$

$$p = L_s^2 / 6 R_c (1 - \cos \theta_s)$$

$$k = L_s - \{(L_s) / 40 R_c^2\} - R_c \sin \theta_s$$

untuk $L_s = 1\text{m}$, $p = p^*$ dan $k = k^*$

dan untuk $L_s = L_s$, $p = p^* \cdot L_s$ dan $k = k^* \cdot L_s$

p^* dan k^* untuk setiap nilai θ_s diberikan pada tabel 2.24

Keterangan : L_s = Panjang spiral

T_s = Titik awal spiral

E_s = Jarak eksternal dari PI ke tengah busur spiral

L_t = Panjang busur spiral

θ_s = Sudut spiral

p = Pergeseran tangen terhadap spiral

k = Absis dari p pada garis tangen spiral

Tabel 2.27 Besaran p* dan k*

$\theta\sigma$	p*	k*	$\theta\sigma$	p*	k*
0,5	0,00073	0,5	20,5	0,03094	0,4978
1	0,00146	0,49999	21	0,03174	0,49768
1,5	0,00215	0,49999	21,5	0,03255	0,49757
2	0,00293	0,49998	22	0,03336	0,49745
2,5	0,00366	0,49997	22,5	0,03417	0,49733
3	0,00439	0,49995	23	0,03499	0,4972
3,5	0,00513	0,49994	23,5	0,03581	0,49708
4	0,00586	0,49992	24	0,03663	0,49695
4,5	0,00659	0,4999	24,5	0,03746	0,49681
5	0,00733	0,49987	25	0,03829	0,49667
5,5	0,00806	0,49985	25,5	0,03913	0,49653
6	0,0088	0,49982	26	0,03997	0,49639
6,5	0,00954	0,49978	26,5	0,04081	0,49624
7	0,01028	0,49982	27	0,04166	0,49609
7,5	0,01102	0,49975	27,5	0,04251	0,49594
8	0,01176	0,49971	28	0,04337	0,49578
8,5	0,0125	0,49967	28,5	0,04423	0,49562
9	0,01325	0,49963	29	0,0451	0,49545
9,5	0,01399	0,49959	29,5	0,04597	0,49529
10	0,01474	0,49949	30	0,04685	0,49512
10,5	0,01549	0,49944	30,5	0,04773	0,49494
11	0,01624	0,49938	31	0,04861	0,49476
11,5	0,01699	0,49932	31,5	0,0495	0,49458
12	0,01775	0,49926	32	0,0504	0,49439
12,5	0,0185	0,4992	32,5	0,0513	0,4942
13	0,01926	0,49913	33	0,0522	0,49401
13,5	0,02002	0,49906	33,5	0,05312	0,49381
14	0,02078	0,49899	34	0,05403	0,49361
14,5	0,02155	0,49891	34,5	0,05495	0,49341
15	0,02232	0,49884	35	0,05495	0,4932
15,5	0,02309	0,49876	35,5	0,05682	0,49299
16	0,02386	0,49867	36	0,05775	0,49277
16,5	0,02463	0,49859	36,5	0,0587	0,49255
17	0,02541	0,4985	37	0,05965	0,49233
17,5	0,02619	0,49841	37,5	0,06061	0,4921
18	0,02698	0,49831	38	0,06157	0,49186
18,5	0,02776	0,49822	38,5	0,06254	0,49163
19	0,02855	0,49812	39	0,06351	0,49139
19,5	0,02934	0,49801	39,5	0,06449	0,49114
20	0,03014	0,49791	40	0,06548	0,49089

Sumber : Diktat Rekayasa Jalan Raya

Pelebaran Jalur Lalu Lintas di Tikungan

Pada saat kendaraan melewati tikungan, roda belakang kendaraan tidak dapat mengikuti jejak roda depan sehingga lintasannya berada lebih ke dalam dibandingkan dengan lintasan roda depan.

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan konsistensi geometrik jalan, agar kondisi operasional lalu lintas di tikungan sama dengan bagian lurus. Pelebaran perkerasan pada tikungan mempertimbangkan :

- 🏠 Kesulitan pengemudi untuk menempatkan kendaraan tetap pada lajunya.
- 🏠 Penambahan lebar ruang (lajur) yang dipakai saat kendaraan melakukan gerakan melingkar. Dalam segala hal pelebaran di tikungan harus memenuhi gerak perputaran kendaraan rencana sedemikian sehingga kendaraan rencana tetap pada lajunya.
- 🏠 Besarnya pelebaran di tikungan dapat dilihat pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28 Pelebaran di tikungan per lajur (m)

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran per lajur
1000 – 750	0,10
750 - 400	0,40
400 - 300	0,50
300 - 250	0,60

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

Superelevasi

Superelevasi menunjukkan besarnya perubahan kemiringan melintang jalan secara berangsur-angsur dari kemiringan normal menjadi kemiringan maksimum pada suatu tikungan horisontal yang direncanakan. Dengan demikian dapat menunjukkan kemiringan melintang jalan pada setiap titik dalam tikungan.

Nilai superelevasi yang tinggi mengurangi gaya geser kesamping dan menjadikan gerakan kendaraan pada tikungan lebih nyaman. Jari-jari minimum yang tidak memerlukan superelevasi ditunjukkan pada Tabel 2.29.

Tabel 2.29 Jari-jari tikungan yang diijinkan tanpa superelevasi

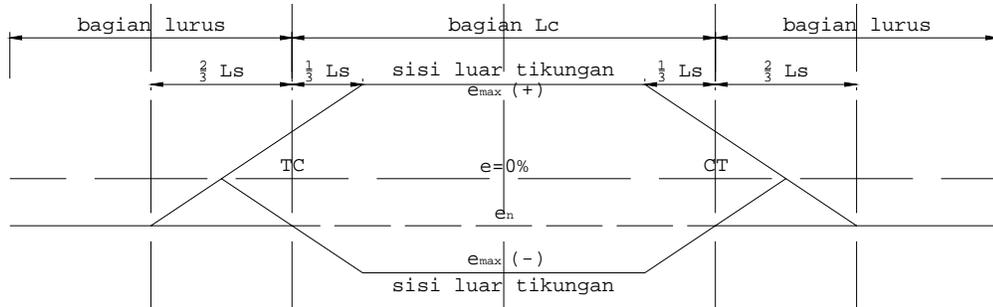
Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Rencana (m)
120	5500
100	2500
80	1250
60	700

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

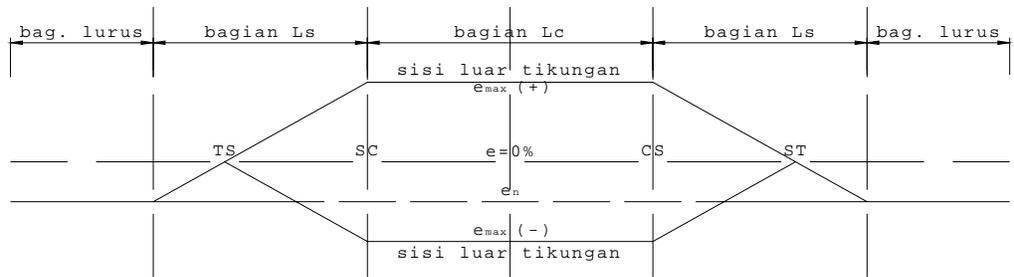
Tabel 2.30 Besar superelevasi untuk beberapa kecepatan rencana

		V	V	V	V	V	V
		50 km/jam	60 km/jam	70 km/jam	80 km/jam	90 km/jam	100 km/jam
D (°)	R (m)	e	e	e	e	e	e
0.75	1910	0.008	0.012	0.016	0.020	0.025	0.031
0.95	1500	0.010	0.015	0.020	0.025	0.032	0.039
1.00	1432	0.011	0.015	0.025	0.027	0.033	0.040
1.25	1146	0.013	0.019	0.029	0.033	0.040	0.049
1.43	1000	0.015	0.022	0.030	0.037	0.046	0.055
1.50	955	0.016	0.023	0.032	0.038	0.047	0.057
1.59	900	0.017	0.024	0.035	0.040	0.050	0.060
1.75	819	0.018	0.026	0.035	0.044	0.054	0.065
1.79	800	0.019	0.027	0.039	0.045	0.055	0.066
2.00	716	0.021	0.029	0.040	0.049	0.060	0.072
2.05	700	0.021	0.030	0.045	0.050	0.061	0.073
2.39	600	0.025	0.035	0.047	0.057	0.069	0.082
2.50	573	0.026	0.036	0.053	0.059	0.072	0.085
2.86	500	0.029	0.041	0.055	0.065	0.079	0.092
3.00	477	0.030	0.042	0.062	0.068	0.081	0.094
3.50	409	0.035	0.048	0.063	0.076	0.089	0.099
3.58	400	0.036	0.049	0.068	0.077	0.090	0.099
4.00	358	0.039	0.054	0.074	0.082	0.095	
4.50	318	0.043	0.059	0.077	0.088	0.099	
4.77	300	0.046	0.062	0.079	0.091	0.100	
5.00	286	0.048	0.064	0.088	0.093	0.100	
6.00	239	0.055	0.073	0.094	0.098		
7.00	205	0.062	0.080	0.095	0.100		
7.16	200	0.063	0.081	0.098	0.100		

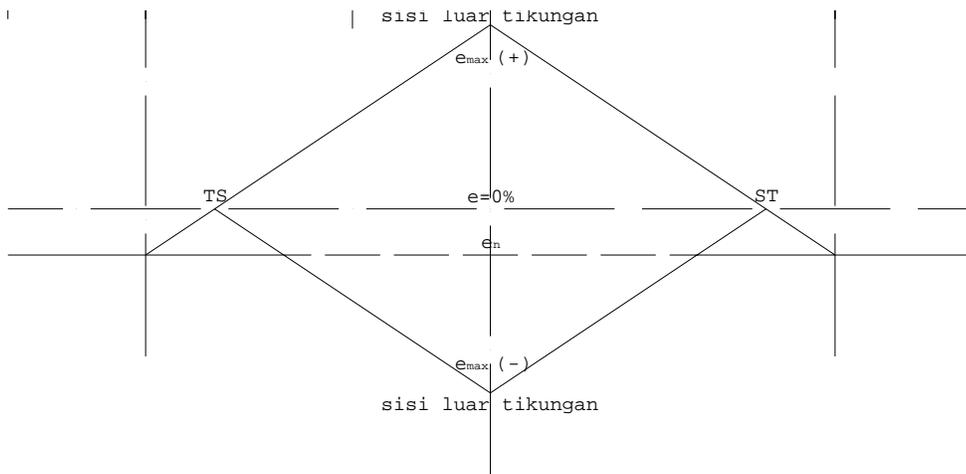
Diagram superelevasi untuk tipe tikungan F-C, S-C-S, dan S-S dapat dilihat pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.4 Diagram superelevasi pada tikungan F-C



Gambar 2.5 Diagram superelevasi pada tikungan S-C-S



Gambar 2.6 Diagram superelevasi pada tikungan S-S

Jarak Pandang

Dalam mengemudikan kendaraan sangat diperlukan adanya jarak pandang yang cukup karena dengan hal ini pengemudi mampu menyadari dan mengetahui kondisi jalan sehingga mampu mengantisipasi dan mengambil tindakan terhadap kondisi jalan sedini mungkin.

Fungsi jarak pandang ini adalah sebagai berikut :

- Mencegah terjadinya kecelakaan akibat tak terlihatnya benda besar, pejalan kaki, kendaraan berhenti, atau hewan-hewan pada lajur jalannya.
- Memberikan kesempatan untuk mendahului kendaraan yang berjalan lebih lambat.
- Digunakan sebagai dasar dalam menentukan posisi rambu-rambu lalu lintas yang akan dipasang.
- Memaksimalkan volume pelayanan jalan sehingga efisiensi jalan bertambah.

Jarak pandang dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Jarak Pandang Henti

Jarak pandang henti adalah jarak yang dibutuhkan pengemudi kendaraan untuk menghentikan laju kendaraannya. Setiap mendesain segmen jalan harus memenuhi jarak pandang sebesar jarak pandang henti minimum sesuai dengan kecepatan rencananya, sehingga keamanan pemakai jalan lebih terjamin. Jarak pandang henti minimum dapat dilihat pada Tabel 2.31.

Dalam perencanaan lengkung vertikal, digunakan jarak pandang henti minimum sebagai dasar perhitungan panjang lengkung.

Tabel 2.31 Jarak pandang henti minimum

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

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

2. Jarak Pandang Menyiap

Jarak pandang menyiap adalah jarak pandang yang dibutuhkan pengemudi untuk dapat melakukan gerakan menyiap dengan aman dan dapat melihat kendaraan dari arah depan dengan bebas.

Jarak pandang menyiap dihitung berdasarkan atas panjang jalan yang diperlukan untuk dapat melakukan gerakan menyiap suatu kendaraan dengan sempurna dan aman

berdasarkan asumsi yang diambil. Untuk menghitung besarnya jarak pandang menyiap, digunakan rumus sebagai berikut :

$$J_m = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

Keterangan :

J_m = Jarak pandang menyiap standar

d_1 = Jarak yang ditempuh kendaraan yang hendak menyiap selama waktu reaksi dan waktu membawa kendaraannya yang hendak membelok ke lajur kanan.

$$d_1 = 0,278 \cdot t_1 \cdot [v - m + (a \cdot t_1 / 2)]$$

Dimana : t_1 = Waktu reaksi = $2,12 + 0,026 \cdot V_R$ (detik)

m = Perbedaan kecepatan kendaraan yang disiap dan yang menyiap (km/jm)

a = Percepatan kendaraan = $2,052 + 0,0036 \cdot V_R$

v = Kecepatan kendaraan yang menyiap

d_2 = Jarak yang ditempuh selama kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan.

$$d_2 = 0,278 \cdot v \cdot t_2$$

Dimana : t_2 = Waktu dimana kendaraan yang menyiap berada di lajur kanan.

d_3 = Jarak bebas yang harus ada antara kendaraan yang menyiap dengan kendaraan yang berlawanan arah setelah gerakan menyiap dilakukan (diambil 30 m – 100 m).

d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang berlawanan arah selama 2/3 dari waktu yang diperlukan oleh kendaraan yang menyiap berada pada lajur sebelah kanan = (2/3 d_2)

Penentuan jarak pandang menyiap standar dan minimum selain dari rumus di atas, juga dapat ditentukan dari Tabel 2.32

Tabel 2.32 Jarak pandang menyiap minimum

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

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal merupakan penampang melintang jalan dimana alinyemen ini merupakan proyeksi sumbu jalan ke bidang vertikal tegak lurus penampang melintang jalan.

Tujuan perencanaan lengkung vertikal adalah :

- Mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian.
- Menyediakan jarak pandang henti.

Perencanaan alinyemen vertikal harus sedemikian rupa sehingga trase jalan yang dihasilkan memberikan tingkat kenyamanan dan tingkat keamanan yang optimal. Perhitungan dimulai dari data elevasi *point of vertical intersection* (PVI), kemudian baru dihitung besaran-besaran sebagai berikut :

- Panjang lengkung vertikal L_v dalam meter
- Pergeseran vertikal E_v dalam meter
- Elevasi permukaan jalan di PLV dan PTV
- Elevasi permukaan jalan antara PLV, PVI, dan PTV pada setiap stasiun yang terdapat pada alinyemen.

Rumus-rumus yang digunakan adalah :

$$A = g_1 - g_2$$

$$E_v = (A \cdot L_v) / 800$$

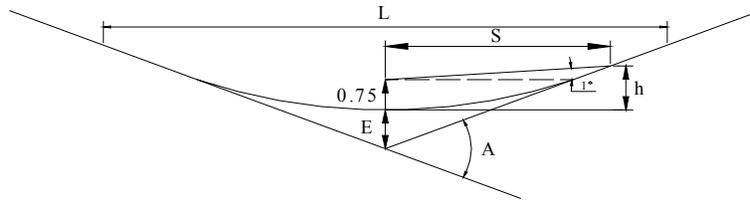
Dimana : A = Perbedaan aljabar landai

g_1, g_2 = Kelandaian jalan (%)

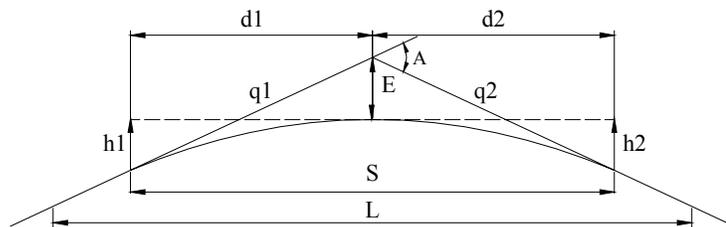
E_v = Jarak antara lengkung vertikal dengan PV

L_v = Panjang lengkung vertikal

Lengkung vertikal terdiri dari dua jenis, yaitu lengkung vertikal cekung (Gambar 2.7), dan lengkung vertikal cembung (Gambar 2.8).



Gambar 2.7 Sketsa lengkung vertikal cekung



Gambar 2.8 Sketsa lengkung vertikal cembung

L_v dihitung berdasarkan jarak pandang henti, dengan kondisi sebagai berikut:

1. Jika jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung ($S < L$), panjangnya ditetapkan dengan rumus :

$$L_v = \frac{A \cdot S^2}{405}$$

2. Jika jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cekung ($S > L$), panjangnya ditetapkan dengan rumus :

$$L_v = 2 \cdot S - \frac{405}{A}$$

Panjang minimum lengkung vertikal dapat dilihat pada Tabel 2.33 berikut.

Tabel 2.33 Panjang minimum lengkung vertikal

Vr (Km/jam)	100	80	60	50	40	30	20
Lv minimum (m)	80	70	50	40	35	25	20

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

Landai Jalan

Berdasarkan arus lalu lintas, landai jalan ideal adalah landai datar (0%), tetapi jika didasarkan pada kriteria desain drainase maka jalan yang memiliki kemiringan adalah yang terbaik. Landai jalan dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Landai Melintang

Untuk menggambarkan perubahan nilai superelevasi pada setiap segmen di tikungan jalan maka perlu dibuat diagram superelevasi. Kemiringan melintang badan jalan minimum pada jalan lebar (e) adalah sebesar 2 %, sedangkan nilai e maksimum adalah 10 % untuk medan datar. Pemberian batas ini dimaksudkan untuk memberikan keamanan optimum pada konstruksi badan jalan di tikungan dimana nilai ini didapat dari rumusan sebagai berikut :

$$e_{\max} + f_m = \frac{V_R^2}{127 \cdot R_{\min}}$$

Dimana : e_{\max} = Kemiringan melintang jalan

f_m = Koefisien gesekan melintang

Besarnya nilai f_m didapat dari grafik koefisien gesekan melintang sesuai dengan AASTHO 1986.

Pembuatan kemiringan jalan didesain dengan pertimbangan kenyamanan, keamanan, komposisi kendaraan dan variasi kecepatan serta efektifitas kerja dari alat-alat berat pada saat pelaksanaan.

2. Landai Memanjang

Pengaruh dari adanya kelandaian dapat dilihat dari berkurangnya kecepatan kendaraan atau mulai dipergunakannya gigi rendah pada kendaraan jenis truk yang terbebani secara penuh. Panjang landai kritis atau maksimum yang belum mengakibatkan gangguan lalu lintas adalah yang mengakibatkan penurunan kecepatan maksimum 25 km/jam. Kelandaian yang besar akan mengakibatkan penurunan kecepatan truk yang cukup berarti jika kelandaian tersebut dibuat pada jalan yang cukup panjang, tetapi kurang berarti jika panjang jalan dengan hanya pendek saja.

Panjang maksimum yang diijinkan sesuai dengan kelandaianya (panjang kritis) adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.34

Tabel 2.34 Panjang kritis

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 : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

Sedangkan kelandaian maksimum yang diijinkan untuk berbagai V_R dapat dilihat dalam tabel 2.35

Tabel 2.35 Kelandaian Maksimum

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

Sumber : Standar Perencanaan Geometrik Untuk Jalan Antar Kota 1997

2.2.3.8 Tipe Medan

Tiga tipe alinyemen umum ditentukan untuk digunakan dalam analisa operasional dan perancangan.

Tabel 2.36 Tipe Medan

Tipe alinyemen	Naik + Turun (m / km)	Lengkung Horisontal (rad/km)
Datar	< 10	< 1,0
Bukit	10 – 30	1,0 – 2,5
Gunung	> 30	> 2,5

Sumber : MKJI, tahun 1997

Untuk studi khusus dari jalan bebas hambatan 2/2 UD, kecepatan arus bebas sebagai fungsi umum dari alinyemen vertikal yang dinyatakan sebagai naik + turun (m/km) dan dari alinyemen horisontal yang dinyatakan sebagai lengkung (rad/km).

2.2.3.9 Tipe Jalan Bebas Hambatan

a) Jalan bebas hambatan dua-lajur, dua arah tak terbagi (MW 2/2 UD)

Tipe jalan bebas hambatan ini meliputi semua jalan bebas hambatan dua arah dengan lebar jalur lalu lintas antara 6,5 sampai 7,5 meter.

Keadaan dasar jalan bebas hambatan ini, yang digunakan untuk menentukan kecepatan bebas dasar dan kapasitas adalah sebagai berikut :

- Lebar jalur lalu lintas 7 meter
- Lebar efektif bahu diperkeras 1,5 meter pada masing-masing sisi
- Tidak ada median
- Pemisahan arus lalu lintas 50 – 50
- Tipe alinyemen : datar
- Kelas jarak pandang : A

b) Jalan bebas hambatan empat-lajur dua arah terbagi (MW 4/2 D)

Tipe jalan bebas hambatan ini meliputi semua jalan bebas hambatan dengan lebar jalur antara 3,25 sampai 3,75 m.

Keadaan dasar jalan bebas hambatan tipe ini didefinisikan sebagai berikut :

- Lebar jalur lalu lintas 2 x 7,0 m
- Lebar efektif bahu diperkeras 3,75 m (lebar bahu dalam 0,75 + lebar bahu luar 3,00) untuk masing-masing jalur lalu lintas)
- Ada median
- Tipe alinyemen : datar
- Kelas jarak pandang : A

c) Jalan bebas hambatan enam atau delapan lajur terbagi (MW 6/2 UD atau MW 8/2 UD)

Jalan bebas hambatan enam atau delapan lajur terbagi dapat juga dianalisa dengan karakteristik dasar yang sama seperti diuraikan diatas.

2.2.3.10 Jalur Pendakian

Jalur pendakian bertujuan untuk menampung truk yang bermuatan berat atau kendaraan lain yang lebih lambat supaya kendaraan yang lebih lambat itu tidak menggunakan

jalur lawan. Jalur pendakian harus disediakan pada ruas jalan yang memiliki kelandaian besar dan menerus, pada saat yang bersamaan mempunyai lalu lintas yang padat.

Lebar jalur pendakian adalah sama dengan lajur utama dan panjang lajur pendakian harus 200 m atau lebih.

2.2.3.11 Bahu Jalan

Fungsi utama bahu jalan adalah untuk melindungi bagian utama jalan. Lebar bahu jalan harus ditentukan dengan mempertimbangkan manfaat maupun biaya pembangunan. Permukaan bahu harus berada pada ketinggian yang sama seperti tipe perkerasan.

Sejumlah tipe melintang standar telah dipilih untuk penggunaan. Semua penampang melintang dianggap memiliki bahu yang diperkeras yang dapat digunakan untuk kendaraan berhenti, tetapi bukan digunakan sebagai jalur lalu lintas.

Tabel 2.37 Lebar Bahu Jalan

Tipe Jalan/kode	Kelas Jarak Pandang	Lebar Jalur Lalu Lintas (M)	Lebar Bahu			
			Luar			Dalam
			Datar	Bukit	Gunung	
MW 2/2 UD	A	$\leq 7,0$	2,0	2,0	1,0	0,5
MW 4/2 UD	A	7,01 - 14,0	2,5	2,5	1,5	0,5
MW 4/2 D	A	14,01 - 21,0	3,0	2,5	2,5	0,75

Sumber : MKJI, tahun 1997

2.2.3.12 Pengaman Tepi

Pengaman tepi bertujuan untuk memberikan ketegasan tepi badan jalan. Jenis pengaman tepi dapat berupa pengaman tepi dari besi (*guard rail*). Dipergunakan untuk melawan tumbukan (*impact*) dari kendaraan dan mengembalikan kendaraan ke arah dalam sehingga tetap bergerak dengan kecepatan yang makin kecil sepanjang pagar pengaman.

2.2.4 Aspek Struktural Perkerasan

Struktur perkerasan jalan adalah bagian jalan yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan, serta kestabilan agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar dengan aman

Dalam perencanaan jalan, perkerasan merupakan bagian terpenting dimana perkerasan berfungsi sebagai berikut :

- Menyebarkan beban lalu lintas sehingga besarnya beban yang dipikul *sub grade* (tanah dasar) lebih kecil dari kekuatan *sub grade* itu sendiri.
- Melindungi *sub grade* dari air hujan.
- Mendapatkan permukaan yang rata dan memiliki koefisien gesek yang mencukupi sehingga pengguna jalan lebih aman dan nyaman dalam berkendara.

2.2.4.1 Metode Perencanaan Struktur Perkerasan

Salah satu metode perkerasan jalan adalah jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran aspal dengan agregat yang memiliki ukuran butir tertentu sehingga memiliki kepadatan, kekuatan dan *flow* tertentu. Jenis perkerasan jalan yang lain adalah perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu perkerasan beton semen dimana terdiri dari campuran semen PC, agregat halus dan air yang digelar dalam satu lapis.

Untuk Perencanaan Jalan Tol Semarang - Kendal dipakai jenis perkerasan lentur dan sebagian perkerasan kaku pada gerbang tol. Desain tebal perkerasan dihitung agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh beban kendaraan, perubahan suhu, kadar air dan perubahan volume pada lapisan bawahnya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perkerasan jalan adalah sebagai berikut :

a. *Umur rencana*

Pertimbangan yang digunakan dalam umur rencana perkerasan jalan adalah pertimbangan biaya konstruksi, pertimbangan klasifikasi fungsional jalan dan pola lalu lintas jalan yang bersangkutan dimana tidak terlepas dari satuan pengembangan wilayah yang telah ada.

b. *Lalu lintas*

Analisa lalu lintas berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan komposisi beban sumbu kendaraan berdasarkan data terakhir dari pos-pos resmi setempat.

c. *Konstruksi jalan*

Konstruksi jalan terdiri dari tanah dan perkerasan jalan. Penetapan besarnya rencana tanah dasar dan material-materialnya yang akan menjadi bagian dari konstruksi perkerasan harus didasarkan atas survey dan penelitian laboratorium.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tebal perkerasan jalan adalah :

- 🏠 Jumlah jalur (N) dan Koefisien distribusi kendaraan (C)
- 🏠 Angka ekivalen (E) beban sumbu kendaraan
- 🏠 Lalu lintas harian rata-rata
- 🏠 Daya dukung tanah (DDT) dan CBR
- 🏠 Faktor regional (FR)

Lapisan Struktur perkerasan terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

a. Lapis aus :

- Sebagai lapis aus yang berhubungan dengan roda kendaraan.
- Mencegah masuknya air pada lapisan bawah (lapis Kedap air).

b. Lapis perkerasan :

- Sebagai lapis perkerasan menahan beban roda, lapisan ini memiliki kestabilan tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- Sebagai lapis yang menyebarkan beban ke lapis bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dibawahnya yang mempunyai daya dukung lebih jelek.

2. Lapis Pondasi (*Base Course*)

Merupakan lapis pondasi atas yang berfungsi sebagai :

- Sebagai lantai kerja bagi lapisan diatasnya.
- Sebagai lapis peresapan untuk lapis podasi bawah.
- Menahan beban roda dan menyebarkan ke lapis bawahnya.
- Mengurangi *compressive stress sub base* sampai tingkat yang dapat diterima.

- Menjamin bahwa besarnya regangan pada lapis bawah bitumen (*material surface*), tidak akan menyebabkan *cracking*.

3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Memiliki fungsi sebagai berikut :

- Menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.
- Untuk efisiensi penggunaan material.
- Sebagai lapis perkerasan.
- Sebagai lantai kerja bagi lapis pondasi atas.

4. Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapisan tanah dasar (*sub grade*) dapat berupa tanah asli yang dipadatkan. Jika tanah aslinya baik, cukup hanya dipadatkan saja atau tanah yang distabilkan baik dengan kapur, semen atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum, diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana, hal ini dapat dicapai dengan perlengkapan drainase yang memenuhi syarat. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dapat dibedakan atas :

- a. Lapisan tanah dasar galian.
- b. Lapisan tanah dasar timbunan.
- c. Lapisan tanah dasar asli.

Pada perencanaan jalan tol ini, tanah asli berupa sawah dan rawa yang mempunyai daya dukung tanah yang kurang baik sehingga dalam perencanaan perkerasan memerlukan timbunan tanah yang banyak. Untuk itu perlu diperiksa apakah ketinggian tanah timbunan memenuhi tinggi kritis (*critical height*) atau tidak. Jika memenuhi maka tanah dasar sudah mampu menahan beban lalu lintas yang akan lewat, tapi jika tidak maka tanah dasar perlu diperkuat dengan stabilisasi tanah atau dengan menggunakan geotextile. CBR tanah timbunan minimal 6%.

✚ **Pemeriksaan tinggi kritis timbunan (diperiksa per STA yang ada data tanahnya) :**

Diketahui data : C (kohesi), G_s , γ (berat jenis tanah dasar), W (kadar air), e (void ratio)

H timbunan

- 1) Tentukan nilai L_e dengan rumus $L_e = 1,8 \cdot C / \gamma$
- 2) Tentukan nilai β dengan rumus $\beta = \tan^{-1} (H / L_e)$, setelah itu masukkan nilai β ke dalam grafik Angka Kemantapan (terlampir) untuk mendapatkan nilai N_s .
- 3) Cari nilai tinggi kritis H_{cr} dengan rumus $H_{cr} = C / (\gamma \cdot N_s)$
Setelah didapat nilai H_{cr} , maka dibandingkan dengan H timbunan.
 - Jika H timbunan $< H_{cr}$ maka tanah dasar mampu menahan beban yang lewat
 - Jika H timbunan $> H_{cr}$ maka tanah dasar tidak mampu menahan beban dan perlu dilakukan cara mengatasinya (stabilisasi atau dengan geotextile) .

2.2.4.1 Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Dalam menghitung tebal perkerasan lentur pada perencanaan jalan tol ini menggunakan dasar perhitungan yang berasal dari buku : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya (PPTPLJR) dengan Metode Analisa Komponen SKBI 2.3.26.1987* Departemen Pekerjaan Umum.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. LHR setiap jenis kendaraan ditentukan sesuai dengan umur rencana.
2. Lintas ekuivalen permukaan (LEP), dihitung dengan rumus :

$$LEP = \sum (LHR \cdot C_j \cdot E_j)$$

Dengan : C_j = Koefisien distribusi kendaraan

E_j = Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan

3. Lintas ekuivalen akhir (LEA), dihitung dengan rumus :

$$LEA = \sum [LHR \cdot (1 + i)^n \cdot C_j \cdot E_j]$$

Dengan : C_j = Koefisien distribusi kendaraan

E_j = Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan

n = Tahun rencana

i = Faktor pertumbuhan lalu lintas

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut tabel 2.38 dibawah ini.

Tabel 2.38 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Jalur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 jalur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 jalur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 jalur	-	0,30	-	0,45
5 jalur	-	0,25	-	0,425
6 jalur	-	0,20	-	0,40

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

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

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar di bawah ini:

$$\text{Angka ekuivalen sumbu tunggal} = \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

$$\text{Angka ekuivalen sumbu ganda} = 0,086 \times \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

$$\text{Angka ekuivalen trindem} = 0,058 \times \left\{ \frac{\text{beban satu sumbu tunggal dalam Kg}}{8160} \right\}^4$$

4. Lintas ekuivalen tengah (LET), dihitung dengan rumus :

$$LET = 1/2 \cdot (LEP + LEA)$$

5. Lintas ekivalen rencana (LER), dihitung dengan rumus :

$$LER = LEP \times FP$$

Dengan : FP = faktor penyesuaian = UR/10

6. Mencari indeks tebal permukaan (ITP) berdasarkan hasil LER, sesuai dengan nomogram yang tersedia. Faktor-faktor yang berpengaruh yaitu DDT atau CBR, faktor regional (FR), indeks permukaan dan koefisien bahan-bahan *sub base*, *base* dan lapis permukaan.

- Nilai DDT diperoleh dengan menggunakan nomogram hubungan antara DDT dan CBR.
- Nilai FR (Faktor Regional) dapat dilihat pada Tabel 2.39

Tabel 2.39 Faktor Regional

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

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

- Indeks Permukaan awal (IP₀) dapat dicari dengan menggunakan Tabel 2.40 di bawah yang ditentukan dengan sesuai dengan jenis lapis permukaan yang akan digunakan

Tabel 2.40 Indeks Permukaan pada awal umur rencana (IP₀)

Jenis lapis permukaan	IP ₀	Roughnes (mm/km)
Laston	≥4	≤1000
	3,9-3,5	>1000
Lasbutag	3,9-3,5	≤2000
	3,4-3,0	>2000
HRA	3,9-3,5	≤2000
	3,4-3,0	>2000
Burda	3,9-3,5	<2000
Burtu	3,4-3,0	<2000
Lapen	3,4-3,0	≤3000
	2,9-2,5	>3000
Latasbum	2,9-2,5	
Buras	2,9-2,5	
Latasir	2,9-2,5	
Jalan tanah	≤2,4	
Jalan kerikil	≤2,4	

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

- Besarnya nilai Indeks Permukaan akhir (IP_t) dapat ditentukan dengan tabel 2.41.

Tabel 2.41 Indeks Permukaan pada akhir umur rencana (IP_T)

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	2,0	-
100-1000	1,5-2,0	2,0	2,0-2,5	-
>1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

7. Menghitung tebal lapisan perkerasannya berdasarkan nilai ITP yang didapat.

$$ITP = a_1.D_1 + a_2.D_2 + a_3.D_3$$

Keterangan : a_1, a_2, a_3 = kekuatan relatif untuk lapis permukaan (a_1), lapis pondasi atas (a_2), dan lapis pondasi bawah (a_3).

D_1, D_2, D_3 = tebal masing-masing lapisan dalam cm untuk lapisan permukaan (D_1), lapis pondasi atas (D_2), dan lapis pondasi bawah (D_3).

- Nilai kekuatan relatif untuk masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2.42

Tabel 2.42 Koefisien kekuatan relatif (FR)

Koefisien kekuatan relatif			Kekuatan bahan			Jenis Bahan
			MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
a1	a2	a3				
0,40			744			Laston
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			Asbuton
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			<i>Hot Rolled Asphalt</i>
0,26			340			Aspal macadam
0,25						Lapen mekanis
0,20						Lapen manual
	0,28		590			Laston atas
	0,26		454			
	0,24		340			
	0,23					Lapen mekanis
	0,19					Lapen manual
	0,15			22		Stabilitas tanah dengan semen

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

Lanjutan tabel 2.42

Koefisien kekuatan Relatif			Kekuatan bahan			Jenis bahan
			MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
a1	a2	a3				
	0,14				100	Pondasi macadam basah
	0,12				60	Pondasi macadam kering
	0,14				100	Batu pecah (kelas A)
	0,13				80	Batu pecah (kelas B)
	0,12				60	Batu pecah (kelas C)
		0,13			70	Sirtu/pitrun (kelas A)
		0,12			50	Sirtu/pitrun (kelas B)
		0,11			30	Sirtu/pitrun (kelas C)
		0,10			20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

Di dalam pemilihan material sebagai lapisan pada perkerasan harus diperhatikan tebal minimum perkerasan yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.43.

Tabel 2.43 Tebal minimum lapisan perkerasan

a. Lapis permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
3,00-6,70	5	Lapen /aspal macadam, HRA, Asbuton, Laston
6,71-7,49	7,5	Lapen/aspal macadam, HRA, Asbuton, Laston
7,50-9,99	7,5	Asbuton, Laston
≥10,00	10	Laston

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

Tabel 2.43
b. Lapis pondasi

ITP	Tebal minimum (cm)	Bahan
<3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur
3,00-7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur
7,90-9,99	10	Laston atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam
10,00 - 12,24	15	Laston atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas
$\geq 12,25$	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen atau kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas

Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya 1999 (Silvia Sukirman)

2.2.5 Aspek Hidrologi dan Drainase

2.2.5.1 Perencanaan saluran 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.

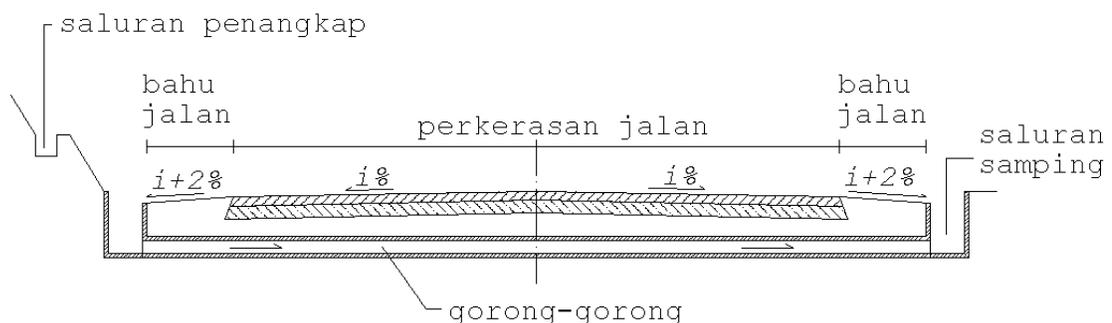
Dalam merencanakan saluran samping harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 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.

2.2.5.2 Ketentuan-ketentuan

1. Sistem drainase permukaan jalan terdiri dari : kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan, selokan samping, gorong-gorong dan saluran penangkap (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 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 2.44

Tabel 2.44 Jarak pematah arus

<i>i</i> (%)	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %
L (m)	16	10	8	7	6

Sumber : Diktat Kuliah Ir. Siti Hardiyati, SPI

- Penampang minimum selokan samping adalah 0,50 m².
4. Gorong-gorong pembuang air
- Kemiringan gorong-gorong adalah 0,5 % - 2 %.
 - Jarak maksimum antar gorong-gorong pada daerah datar adalah 100 m dan daerah pegunungan adalah 200 m.
 - Diameter minimum adalah 80 cm.

2.2.5.3 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 :

$$-X_T = \bar{x} + \frac{S_x}{S_n} \cdot (Y_T - Y_n) \qquad -I = 1/4 \cdot (90\% \cdot X_T)$$

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 , diambil 0,4952 untuk $n = 10$

S_n = standar deviasi, merupakan fungsi dari n , diambil 0,9496 untuk $n = 10$

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

- Waktu konsentrasi (TC) dihitung dengan rumus :

$$T_C = t_1 + t_2$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \cdot 3,28 \cdot L_0 \cdot \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \qquad t_2 = \frac{L}{60 \cdot v}$$

Dimana : T_C = waktu konsentrasi (menit)

t_1 = waktu inlet (menit)

t_2 = waktu aliran (menit)

L_0 = Jarak dari titik terjauh dari saluran drainase (m)

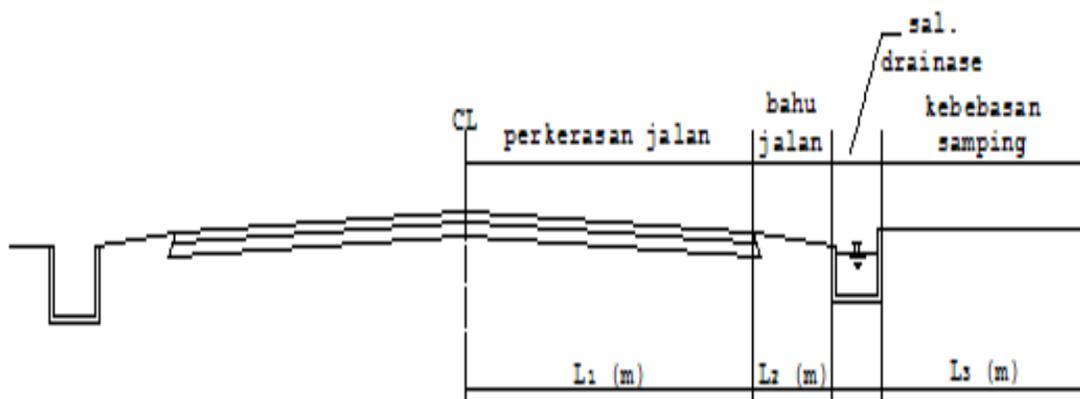
L = panjang saluran (m)

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 terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Batas-batas daerah pengaliran

Batas daerah pengaliran yang diperhitungkan $L = L_1 + L_2 + L_3$ (m)

Dimana : L_1 = dari as jalan sampai tepi perkerasan.

L_2 = dari tepi perkerasan sampai tepi bahu jalan.

L_3 = 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 : C_1 = koefisien untuk jalan aspal = 0,70.

C_2 = 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 sebagai 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)

2.2.5.4 Perhitungan dimensi saluran dan gorong-gorong

Dimensi saluran dan gorong-gorong ditentukan atas dasar $F_e = F_d$

1. Luas penampang basah berdasarkan debit aliran (F_d)

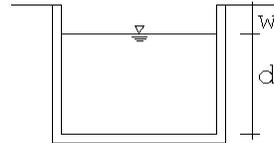
$$F_d = Q / v \quad (m^2)$$

2. Luas penampang basah yang paling ekonomis (F_e)

- Saluran bentuk segi empat

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

$$R = d / 2$$



- Gorong-gorong

$$\text{Rumus : } F_e = 0,685 \cdot D^2 \quad \hookrightarrow \text{ syarat : } d = 0,8 \cdot D$$

$$P = 2 r \quad ; \quad R = F / P$$

Dimana : F_e = Luas penampang basah ekonomis (m^2)

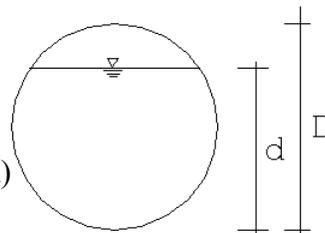
b = lebar saluran (m)

d = kedalaman air (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

D = diameter gorong-gorong (m)

r = jari-jari gorong-gorong (m)



3. Tinggi jagaan (w) untuk saluran segi empat $w = \sqrt{0,5 \cdot d}$

4. Perhitungan kemiringan saluran

$$\text{Rumus : } i = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2$$

Dimana : i = kemiringan saluran

v = kecepatan aliran air (m/detik)

n = koefisien kekasaran *manning*, (saluran pasangan batu) = 0,02

2.2.6 Gerbang Tol

Gerbang tol merupakan tempat untuk mengumpulkan bea tol dari pemakai jalan tol. Elemen untuk menghitung jumlah lajur yang dibutuhkan pada gerbang tol :

- Volume lalu lintas
- Waktu pelayanan untuk pengambilan tiket dan pembayaran tol.
- Jumlah kendaraan yang menunggu pada saat pengambilan tiket dan pembayaran tol.

Kebutuhan lajur pada gerbang tol dilakukan dengan cara trial and error, dengan rumus :

➤ Waktu rata-rata menunggu :

$$W = \{ (p^2 / S) \cdot (b / 1 - U) \cdot k \}$$

(diambil dari PP no.8 tahun 1990)

➤ Jumlah rata-rata kendaraan :

$$q = \{ (p S / S) \cdot (1 / [1 - U]) \} = \{ (W / b) \cdot S \}$$

$$k = \frac{1}{\{ 1 + p + p/S \dots + (p^{s-1}) / [(S-1) + p^s / S] \} \cdot 1 / (1 - [p / s])}$$

(diambil dari PP no.8 tahun 1990)

Dimana :

P = Intensitas lalu lintas = b / a

U = Intensitas lalu lintas per lajur = P / S

a = Rata-rata waktu kedatangan kendaraan (detik)

b = Rata-rata waktu pelayanan (detik)

S = Jumlah pintu gerbang

W = Waktu menunggu rata-rata

q = Rata-rata jumlah kendaraan menunggu

k = konstanta

Tabel 2.45 Jumlah Kebutuhan Lajur Tol

Q = 3 N	T	
	4	8
1	675	337
2	1558	779
3	2450	1225
4	3345	1672
5	4241	2120
6	5139	2569
7	6036	3018
8	6934	3467
9	7833	3916
10	8731	74365
11	9630	4815
12	10529	5264
13	11428	5714
14	12377	6163
15	13226	6613
16	14126	7063
17	15025	7512
18	15924	7962
19	16824	8412
20	17723	8861

Sumber : PT Jasa Marga

Ket : T = Waktu pelayanan rata-rata (detik)

Q = Jumlah kendaraan antri untuk membayar dibatasi sebanyak 3 kendaraan

N = Jumlah lajur tol

2.2.7 Aspek Kelayakan Finansial

Evaluasi kelayakan suatu proyek adalah suatu aktifitas penelitian atau studi yang dilakukan secara komprehensif dari berbagai aspek dalam usaha mengkaji tingkat kelayakan dari suatu proyek (*Studi Kelayakan Proyek Transportasi, LPM – ITB*). Suatu proyek bisa dibilang layak ataupun tidak layak ketika dampak dari proyek tersebut memang sudah sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan dari permasalahan yang ada dan mampu mencapai sasaran-sasaran yang direncanakan secara tepat.

Dalam menganalisa antara keuntungan dan biaya dari suatu proyek kita perlu mengidentifikasi terlebih dahulu apakah proyek tersebut termasuk proyek yang menuntut kelayakan finansial ataukah kelayakan ekonomi. Kelayakan finansial akan menuntut efektifitas dan efisiensi pengalokasian dana ditinjau dari aspek *revenue earning* yang akan diperoleh dalam kurun waktu yang ditinjau, sedang kelayakan ekonomi memiliki sudut pandang yang berbeda. Kelayakan ekonomi memiliki sudut pandang yang lebih luas, yakni sudut pandang kepentingan masyarakat luas atau kepentingan pemerintah, dengan demikian dalam kajian ekonomis yang perlu diperhatikan adalah apakah suatu proyek akan memberi sumbangan atau mempunyai peranan yang positif dalam pembangunan ekonomi secara keseluruhan dan apakah pengalokasian dana tersebut cukup bermanfaat bagi kepentingan masyarakat luas.

Untuk proyek perencanaan jalan tol Semarang – Kendal termasuk dalam kategori proyek umum dengan view point yang dipakai adalah kelayakan finansial. Dalam proyek ini penekanan analisa yang dipakai adalah Biaya Operasional Kendaraan (BOK), selanjutnya akan digunakan sebagai salah satu pertimbangan apakah proyek tersebut memiliki nilai manfaat (*surplus benefit*).

❖ Biaya Operasional Kendaraan

Biaya Operasional Kendaraan (BOK) adalah sejumlah biaya yang dikeluarkan oleh seorang pengendara mobil yang meliputi beberapa komponen, yaitu konsumsi bahan bakar, konsumsi minyak pelumas, konsumsi ban, pemeliharaan dan suku cadang, depresiasi dan asuransi (*Studi Keleyakan Proyek Transportasi, LPM – ITB*). Penghematan BOK merupakan penghematan yang diperoleh oleh pengendara kendaraan setelah adanya proyek dengan relatif apabila tidak ada proyek tersebut. Beberapa variabel analisa yang diperlukan yaitu kecepatan perjalanan (*Travel Speed*), kondisi lalu lintas, kondisi geometri jalan dan kekasaran permukaan jalan (*Road Surface Roughness*). Kecepatan perjalanan berpengaruh terhadap konsumsi bahan

bakar, minyak pelumas serta ban. Adapun kecepatan kendaraan yang digunakan adalah *travel speed*. Kondisi lalu lintas akan menggambarkan volume lalu lintas pada beberapa ruas jalan. Untuk geometric jalan, data yang diperlukan meliputi data panjang jalan dan kelandaian jalan, sedang untuk permukaan jalan yang diperlukan adalah data kekasaran permukaan jalan (*Road surface Roughness*).

Dalam analisa Biaya Operasional Kendaraan, konsumsi bahan bakar menjadi komponen yang paling dominan. Ada beberapa model analisa Biaya Operasional Kendaraan, mulai dari model analisa sederhana yang didasarkan pada kecepatan rata-rata, sampai pada model analisa seketika (*instantaneous*) yang sangat teliti sebagai fungsi waktu, dan model elemental yang memodel pemakaian bahan bakar dengan meliputi pengaruh perlambatan, percepatan dan saat bergerak stabil (*cruise*) serta berhenti.

Untuk analisa manfaat Biaya Operasional Kendaraan diperlukan beberapa data dasar, pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan empat data yang diperlukan yakni kecepatan perjalanan, kondisi lalu lintas, geometric jalan dan kekasaran permukaan jalan. Berikut data-data dasar yang juga diperlukan :

- ✓ Harga satuan bahan bakar bensin (Rp/liter)
- ✓ Harga satuan bahan bakar solar (Rp/liter)
- ✓ Harga satuan minyak pelumas untuk mesin dengan bahan bakar bensin (Rp/liter)
- ✓ Harga satuan minyak pelumas untuk mesin dengan bahan bakar solar (Rp/liter)
- ✓ Harga ban baru (Rp)
- ✓ Harga kendaraan baru (Rp)
- ✓ Harga kendaraan terdepresiasi (Rp)
- ✓ Jarak tempuh rata-rata tahunan kendaraan (Km)
- ✓ Asuransi (Rp)
- ✓ Tingkat suku bunga (%)
- ✓ Umur Kendaraan (Studi Kelayakan Proyek Transportasi, LPM-ITB)

Dalam perhitungan Biaya Operasional kendaraan banyak model yang bisa digunakan. Untuk selanjutnya model yang digunakan adalah model PCI Tol.

Model PCI Tol

1. Persamaan Konsumsi Bahan Bakar

$$\text{Car} : Y = 0.05693 S^2 - 6.42593 S + 269.18567$$

$$\text{Bus} : Y = 0.21692 S^2 - 24.15490 S + 954.78624$$

$$\text{Truck} : Y = 0.21557 S^2 - 24.17699 S + 947.80862$$

Y = Konsumsi bahan bakar (liter / 1000 km)

S = Kecepatan tempuh (kph)

2. Persamaan Konsumsi Oli Mesin

$$\text{Car} : Y = 0.00037 S^2 - 0.04070 S + 2.20405$$

$$\text{Bus} : Y = 0.00209 S^2 - 0.24413 S + 13.29445$$

$$\text{Truck} : Y = 0.00186 S^2 - 0.22035 S + 12.06486$$

Y = Konsumsi Oli Mesin 9 liter / 1000 km)

S = Kecepatan tempuh (kph)

3. Persamaan Pemakaian Ban

$$\text{Car} : Y = 0.0008848 S + 0.0045333$$

$$\text{Bus} : Y = 0.0012356 S + 0.0065667$$

$$\text{Truck} : Y = 0.0015553 S + 0.0059333$$

Y = Pemakaian satu ban per 1000 km

S = Kecepatan tempuh (kph)

4. Persamaan Biaya Pemeliharaan (*Sparepart*)

$$\text{Car} : Y = 0.0000064 S + 0.0005567$$

$$\text{Bus} : Y = 0.0000332 S + 0.0020891$$

$$\text{Truck} : Y = 0.0000191 S + 0.0015400$$

Y = Biaya pemeliharaan suku cadang, dikalikan dengan nilai kendaraan yang terdepresiasi per 1000 km

S = Kecepatan tempuh (kph)

5. Persamaan Biaya Awak Kendaraan

$$\text{Car} : Y = 0.00362 S + 0.36267$$

$$\text{Bus} : Y = 0.02311 S + 1.97733$$

$$\text{Truck} : Y = 0.01511 S + 1.21200$$

Y = Biaya awak kendaraan per 1000 km

S = Kecepatan tempuh (kph)

6. Persamaan Depresiasi

$$\text{Car} : Y = 1 / (2.5 S + 125)$$

$$\text{Bus} : Y = 1 / (9.0 S + 450)$$

$$\text{Truck} : Y = 1 / 9 (6.0 S + 300)$$

Y = Depresiasi per 1000 km dikalikan dengan $1/2$ dari nilai kendaraan terdepresiasi

S = Kecepatan tempuh (kph)

7. Persamaan untuk Bunga Modal

$$\text{Car} : Y = 150 / (500 S)$$

$$\text{Bus} : Y = 150 / (2571.42857 S)$$

$$\text{Truck} : Y = 150 / 9 (1714.28571 S)$$

Y = Bunga modal per 1000 km, dikalikan dengan $1/2$ dari nilai kendaraan terdepresiasi

S = Kecepatan tempuh (kph)

8. Persamaan untuk Asuransi

$$\text{Car} : Y = 38 / 9 (500 S)$$

$$\text{Bus} : Y = 6 / (2571.42857 S)$$

$$\text{Truck} : Y = 61 / (1714.28571 S)$$

Y = Asuransi per 1000 km dikalikan dengan nilai baru kendaraan

S = Kecepatan tempuh (kph)

9. Persamaan untuk waktu Perjalanan

Car : $Y = -$

Bus : $Y = 1000 / S$

Truck : $Y = 1000 / S$

$Y =$ Waktu perjalanan per 1000 km

$S =$ Kecepatan tempuh (kph)

10. Overhead

Car : -

Bus : 10 % dari sub-total di atas

Truck : 10 % dari sub-total di atas

(Sumber : Studi Kelayakan Proyek Transportasi, LPM – ITB)

Selain itu analisa kelayakan finansial sangat erat kaitannya dengan investasi yang akan ditanamkan oleh investor. Untuk menilai baik tidaknya suatu investasi dan untuk membantu dalam pengambilan keputusan diteruskan atau tidaknya suatu proyek digunakan indeks yang disebut kriteria investasi. Kriteria investasi yang lazim digunakan adalah :

a. *Net Present Value* (Nilai Tunai Sekarang)

Metode ini berusaha membandingkan semua komponen biaya satu dengan yang lainnya. Dalam hal ini acuan yang digunakan adalah besaran netto saat ini atau *Net Present Value* (NPV). Artinya semua besaran komponen keuntungan dan biaya diubah dalam besaran nilai sekarang. Selanjutnya NPV didefinisikan sebagai selisih antara present value dari komponen keuntungan dan present value di komponen biaya secara matematis. Rumus NPV yaitu :

$$NPV = \left(\frac{Bt - Ct}{(1 + i)^n} \right)$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

i : *Discount Rate* (Suku Bunga Komersil)

Suatu proyek dikatakan layak bila $NPV > 0$, sedangkan jika $NPV = 0$, maka keuntungan yang diperoleh sama dengan modal yang dikeluarkannya dan jika $NPV < 0$, maka proyek dikatakan tidak layak.

b. *Internal Rate of Return (IRR)*

Didefinisikan sebagai nilai *discount rate* (i) yang membuat NPV proyek = 0. Hal ini berarti keuntungan sama dengan biaya yang dikeluarkan. Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Bt - Ct}{(1 + IRR)^n} = 0$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

Biasanya rumus untuk menentukan IRR tidak dapat dipecahkan secara langsung namun dengan cara coba-coba (*Trial and Error*). Syarat yang digunakan sebagai ukuran adalah :

- Apabila $IRR > i$ (*discount rate*), maka proyek dikatakan layak.
- Apabila $IRR < i$ (*discount rate*), maka proyek tidak layak dilaksanakan.

c. *Net Benefit Cost Ratio (Net B / C)*

Indeks ini menggambarkan tingkat efektifitas pemanfaatan biaya terhadap keuntungan yang didapat. Secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\text{Net B/C} = \frac{\frac{Bt - Ct}{(1 + i)^n} \times (Bt - Ct > 0)}{\frac{Ct - Bt}{(1 + i)^n} \times (Bt - Ct < 0)}$$

Keterangan :

Bt : *Benefit* (keuntungan) pada tahun t

Ct : *Cost* (biaya) pada tahun t

n : Umur Proyek

i : *Discount Rate* (Suku Bunga Komersil)

Suatu proyek dikatakan layak bila $Net\ B / C > 1$, sebaliknya jika $Net\ B / C < 1$ maka dikatakan tidak layak. Jika dua atau lebih proyek dibandingkan satu dengan yang lainnya maka proyek dengan BCR yang paling besarlah yang terbaik, karena hal ini menunjukkan tingkat efektifitas pemanfaatan biaya terhadap keuntungan yang diperoleh adalah yang terbesar.

Meskipun nilai BCR sangat baik mempresentasikan tingkat kelayakan proyek, tetapi hasil analisisnya sangat tergantung pada besarnya *discount rate* yang diterapkan. Dalam hal ini informasi yang akurat berkaitan dari indeks BCR. Hal yang sama juga berlaku untuk indeks NPV. Dari kedua indeks tersebut, akan terlihat bahwa makin akurat informasi yang kita peroleh berkaitan dengan *discount rate* maka semakin akurat pula indeks BCR atau NPV yang diperoleh.