

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Perkerasan Jalan

Perkerasan Jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Lalu lintas langsung terkonsterasi pada bagian ini, dan boleh dikatakan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan. Perkerasan jalan dalam kondisi baik maka arus lalu lintas akan berjalan dengan lancar, demikian sebaliknya kalau perkerasan jalan rusak, lalu lintas akan sangat terganggu.

Jaringan jalan di Indonesia tersebar meluas keseluruh pelosok yang dapat dijangkau transportasi darat. Mengingat luasnya cakupan wilayah transportasi dan dengan belum seimbang kemampuan, sumber dana masih banyak daerah yang belum dapat dijangkau oleh transportasi, sehingga mungkin dibanyak tempat masih belum seimbang prasarana jalan dengan kebutuhan yang ada. (Saodang, 2005:01)

Secara umum perkerasan jalan mempunyai persyaratan yaitu kuat, awet, kedap air, rata, tidak licin, murah, dan mudah dikerjakan. Oleh karena itu bahan perkerasan jalan yang paling cocok adalah pasir, kerikil, batu dan bahan pengikat semen. Perkerasan akan mempunyai kinerja yang baik, bila perencanaan dilakukan dengan baik dan komponen utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik pula. Menurut *Federal Highway Administration* (Hardiyatmo, 2015:2) komponen-komponen perkerasan meliputi :

- a. Lapis aus (*wearing course*) yang memberikan cukup kekesatan, tahanan gesek dan penutup kedap air atau drainase dipermukaan.
- b. Lapis perkerasan terikat atau tersementasi (aspal atau beton) yang memberikan daya dukung yang cukup dan sekaligus sebagai penghalang air yang masuk ke dalam material tak terikat dibawahnya.
- c. Lapis pondasi (*base course*) dan lapisan pondasi bawah (*sub-base course*) tak terikat yang memberikan tambahan kekuatan (khususnya untuk perkerasan

lentur dan ketahanan terhadap pengaruh air yang merusak struktur perkerasan, serta pengaruh degradasi yang lain (erosi dan instruksi butiran halus).

- d. Tanah dasar (*subgrade*) yang memberikan cukup kekakuan, kekuatan yang seragam dan merupakan landasan yang stabil bagi lapisan material perkerasan di atasnya.
- e. Sistem drainase yang dapat membuang air dengan cepat dari sistem perkerasan, sebelum air menurunkan kualitas lapisan material granuler tak terikat dan tanah dasar.

2.2 Fungsi Perkerasan

Fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas di bandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah-dasar yaitu pada tekanan di mana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. Secara umum fungsi perkerasan jalan adalah : (Hardiyatmo, 2015:3)

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu-lintas.
2. Untuk memberikan permukaan rata bagi pengendara.
3. Untuk memberikan kekesatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan.
4. Untuk mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindung dari tekanan yang berlebihan.
5. Untuk melindungi tanah dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

2.3 Tipe-tipe Perkerasan

Pertimbangan tipe perkerasan yang dipilih terkait dengan dana pembangunan yang tersedia, biaya pemeliharaan, volume lalu-lintas yang dilayani, serta kecepatan pembangunan agar lalu-lintas tidak terlalu lama terganggu oleh pelaksanaan proyek. Tipe-tipe perkerasan yang banyak digunakan adalah :

1. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan bahan campuran beton.
2. Perkerasan Lentur (*Flexibel Pavement*)

Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan bahan campuran aspal, agregat dan filler atau bahan-bahan yang bersifat lentur.

3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit yaitu perkerasan dengan memakai dua bahan, dengan maksud menggabungkan dua bahan yang berbeda yaitu beton dan aspal.

2.4 Sistem Jaringan dan Klasifikasi Jalan

Sistem jaringan jalan merupakan satu kesatuan jaringan jalan yang terdiri dari sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder yang terjalin dalam hubungan hirarki. Sistem jaringan jalan disusun dengan mengacu pada rencana tata ruang wilayah dan dengan memperhatikan keterhubungan antar kawasan dan atau dalam kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan.

2.4.1 Sistem jaringan jalan

Sistem jaringan jalan merupakan satu kesatuan jaringan jalan yang terdiri dari sistem jaringan jalan primer dan sistem jaringan jalan sekunder yang terjadi dalam hubungan hierarki. Sistem jaringan jalan disusun dengan mengacu pada rencana tata ruang wilayah dan dengan memperhatikan keterhubungan antar kawasan dan/atau dalam kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan. (Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan).

1. Sistem jaringan jalan primer

Sistem jaringan jalan primer adalah sistem jaringan jalan yang disusun berdasarkan rencana tata ruang dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat-pusat kegiatan sebagai berikut :

A. Jalan arteri primer

Jalan arteri primer adalah jalan yang secara efisien menghubungkan antara pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah (Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan) Persyaratan minimum untuk desain:

- a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 60km/jam.
- b. Lebar badan jalan paling rendah 11meter.
- c. Kapasitas lebih besar dari pada volume lalu lintas rata-rata.
- d. Lalu lintas jarak jauh tidak terganggu oleh lalu lintas ulang-alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal.
- e. Jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien, agar kecepatan dan kapasitas dapat terpenuhi.
- f. Persimpangan dengan jalan lain dilakukan pengaturan tertentu, jadi tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.

B. Jalan kolektor primer

Jalan kolektor primer adalah jalan yang secara efisien menghubungkan antara pusat kegiatan wilayah atau menghubungkan antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan) Persyaratan minimum untuk desain :

- a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 40km/jam.
- b. Lebar badan jalan paling rendah 9 meter.
- c. Kapasitas lebih besar dari pada volume lalu lintas rata-rata.
- d. Jumlah jalan masuk dibatasi dan direncanakan sehingga tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan (jarak antar jalan masuk/akses langsung minimum 400 meter).
- e. Persimpangan dengan jalan lain dilakukan pengaturan tertentu, sehingga tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
- f. Tidak terputus walaupun memasuki kawasan perkotaan dan/atau kawasan pengembangan perkotaan.
- g. Persyaratan teknis jalan masuk dan persimpangan ditetapkan oleh Menteri.

C. Jalan lokal primer

Jalan lokal primer adalah jalan menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lingkungan, pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lingkungan, antarpusat kegiatan lokal, atau pusat

kegiatan lokal dengan pusat kegiatan lingkungan, serta antarpusat kegiatan lingkungan.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan) Persyaratan minimum untuk desain :

- a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 20km/jam.
- b. Lebar badan jalan paling rendah 7,5meter.
- c. Tidak terputus walaupun memasuki desa.

D. Jalan lingkungan primer

Jalan lokal primer adalah jalan yang menghubungkan antarpusat kegiatan di dalam kawasan perdesaan dan jalan di dalam lingkungan kawasan perdesaan.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan). Persyaratan minimum untuk desain :

- a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 15 km/jam.
- b. Lebar badan jalan paling rendah 6,5meter.
- c. Bila tidak diperuntukkan bagi kendaraan bermotor beroda 3 (tiga) atau lebih, lebar badan jalan paling rendah 3,5meter.

2. Sistem jaringan jalan sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder disusun berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan yang menghubungkan secara menerus kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga, dan seterusnya sampai ke persil.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan).

A. Jalan arteri sekunder

Jalan arteri sekunder adalah jalan yang menghubungkan antara kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan). Persyaratan minimum untuk desain :

- a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 30 km/jam dengan lebar badan jalan minimal 11 meter.
- b. Kapasitas lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.

c. Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.

B. Jalan kolektor sekunder

Jalan kolektor sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.(Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan).

Persyaratan minimum untuk desain :

a. Kecepatan rencana (V_r) paling rendah 20 km/jam dengan lebar badan jalan minimal 9 meter.

b. Kapasitas lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.

c. Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.

C. Jalan lokal sekunder

Jalan lokal sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, kawasan sekunder kedua dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan. Persyaratan minimum untuk desain yaitu kecepatan rencana (V_r) paling rendah 10 km/jam dengan lebar badan jalan minimal 7,5 meter.

D. Jalan lingkungan sekunder

Jalan lingkungan sekunder adalah jalan menghubungkan antar persil dalam kawasan perkotaan. Persyaratan minimum untuk desain yaitu kecepatan rencana (V_r) paling rendah 10 km/jam dengan lebar badan jalan minimal 6,5 meter. (Peraturan Pemerintah RI No.34 Tahun 2006 Tentang Jalan).

2.4.2 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan dalam menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton dan kemampuan jalan tersebut dalam melayani lalu lintas kendaraan dengan dimensi tertentu pada Peraturan Pemerintah RI No. 43/1993, pasal 11 ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas, Fungsi, Dimensi Kendaraan dan Muatan Sumbu Terberat

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum		Muatan Sumbu Terberat, MST (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
I	Arteri	18	2,5	> 10
II		18	2,5	10
III A		18	2,5	8
III A	Kolektor	18	2,5	8
III B		12	2,5	8
III C	Lokal	9	2,1	8

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2004)

Sedangkan berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 klasifikasi jalan terbagi menjadi :

a. Klasifikasi menurut fungsi jalan

- 1) Jalan arteri, yaitu jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
- 2) Jalan kolektor, yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- 3) Jalan lokal, yaitu jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

b. Klasifikasi menurut kelas jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat dalam satuan ton dapat dilihat pada Tabel 2.2, sedangkan klasifikasi kelas jalan berkaitan dengan Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini :

Tabel 2.2 Klasifikasi Kelas Jalan dalam MST

No.	Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat, MST (ton)
1.	Jalan Arteri	I	> 10
		II	10
		III A	8
2.	Jalan Kolektor	III A	8
		III B	8

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Tabel 2.3 Klasifikasi Kelas Jalan dalam LHR

No.	Fungsi	Kelas	Lalu lintas Harian Rata-rata (smp)
1.	Jalan Arteri	I	> 20.000
2.	Jalan Kolektor	II A	6.000 – 20.000
		II B	1.500 – 8.000
		II C	< 2.000
3.	Jalan Lokal	III	-

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

c. Klasifikasi menurut medan jalan

Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Golongan Medan Jalan

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

d. Klasifikasi menurut pengawasannya

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya sesuai PP No.26/1985 adalah :

1) Jalan Nasional

Jalan arteri dan kolektor yang menghubungkan Ibukota Provinsi dan jalan yang bersifat strategis Nasional.

2) Jalan Provinsi

Jalan kolektor yang menghubungkan Ibukota Provinsi dengan Ibukota Kabupaten/Kota, antar Ibukota Kabupaten/Kota dan jalan yang bersifat strategis regional.

3) Jalan Kabupaten

Jalan lokal yang menghubungkan Ibukota Kabupaten dengan Ibukota Kecamatan, antar Ibukota, Kecamatan, Kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan Kota serta jalan strategis lokal.

4) Jalan Kotamadya

Jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam Kota, pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar pusat pemukiman dan berada di dalam Kota.

5) Jalan Desa

Jalan umum yang menghubungkan kawasan di dalam Desa dan antar pemukiman serta jalan lingkungan.

6) Jalan Khusus

Jalan untuk lalu lintas bukan umum yang peruntukannya bagi kepentingan instansi, badan usaha maupun perorangan atau kelompok masyarakat.

2.5 Penampang Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan melintang tegak lurus sumbu jalan (Silvia Sukirman, 1994:21). Pada potongan melintang jalan dapat terlihat bagian-bagian jalan, bagian-bagian jalan yang utama dapat dikelompokkan sebagai berikut:

2.5.1 Jalur Lalu Lintas

Jalur lalu lintas (*travelled way = carriage way*) adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk lalu lintas kendaraan. Jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur (*lane*) kendaraan. Lajur kendaraan, yaitu bagian dari jalur lalu lintas yang khusus diperuntukkan untuk dilewati oleh satu rangkaian kendaraan beroda empat atau lebih dalam satu arah (Silvia Sukirman, 1994:22). Jadi jumlah lajur minimal untuk jalan 2 arah adalah 2 dan pada umumnya disebut sebagai jalan 2 lajur 2 arah. Jalur lalu lintas untuk 1 arah terdiri dari lajur lalu lintas.

Untuk lebar lajur lalu lintas sendiri merupakan bagian yang paling penting dalam menentukan lebar melintang jalan secara keseluruhan. Besarnya lebar lajur lalu lintas hanya dapat ditentukan dengan pengamatan langsung di lapangan.

Lebar kendaraan penumpang pada umumnya bervariasi antara 1,50 m – 1,75 m. Bina Marga mengambil lebar kendaraan rencana untuk mobil penumpang adalah 1,70 m dan 2,50 m untuk kendaraan rencana truk/bis/semitrailer. Lebar lajur lalu lintas merupakan lebar kendaraan ditambah dengan ruang bebas antara kendaraan yang besarnya sangat ditentukan oleh keamanan dan kenyamanan yang diharapkan.

Pada jalan lokal (kecepatan rendah), lebar jalan minimum 5,50 m (2 x 2,75 m) cukup memadai untuk jalan 2 lajur dengan 2 arah. Dengan pertimbangan biaya yang tersedia, lebar 5 m pun masih diperkenankan. Jalan arteri yang direncanakan untuk kecepatan tinggi, mempunyai lebar lajur lalu lintas lebih besar dari 3,25 m, sebaiknya menggunakan lebar lajur 3,50 m.

Lebar lajur jalan ideal berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Lebar Lajur Jalan Ideal

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

2.5.2 Bahu Jalan

Bahu jalan adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang berfungsi sebagai:

- a. Ruang untuk tempat berhenti sementara kendaraan yang mogok atau yang sekedar berhenti karena pengemudi ingin berorientasi mengenai jurusan yang akan ditempuh atau beristirahat.
- b. Ruang untuk menghindarkan diri dari saat-saat darurat sehingga dapat mencegah terjadinya kecelakaan.
- c. Memberikan kelelahan pada pengemudi, dengan demikian dapat meningkatkan kapasitas jalan yang bersangkutan.
- d. Memberikan sokongan pada konstruksi perkerasan jalan dari arah samping.
- e. Ruang pembantu pada waktu mengadakan pekerjaan perbaikan atau pemeliharaan jalan (untuk tempat penempatan alat-alat, dan penimbunan bahan material).
- f. Ruang untuk lintasan kendaraan-kendaraan patroli, ambulans, yang sangat dibutuhkan pada keadaan darurat seperti terjadinya kecelakaan.

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, No.038 Tahun 1997 lebar jalur lalu lintas sesuai dengan VLHR-nya dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Lebar Lajur dan Bahu Jalan

VLHR (smp/ hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Lebar Ideal (m)		Lebar Minimum (m)		Lebar Ideal (m)		Lebar Minimum (m)		Lebar Ideal (m)		Lebar Minimum (m)	
	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu	Jalur	Bahu
<3000	6.0	1.5	4.5	1.0	6.0	1.5	4.5	1.0	6.0	1.0	4.5	1.0
3000- 10000	7.0	2.0	6.0	1.5	7.0	1.5	6.0	1.5	7.0	1.5	6.0	1.0
10001- 25000	7.0	2.0	7.0	2.0	7.0	2.0	**)	**)	-	-	-	-
>2500 0	2nx 3.5)	2.5	2x7 .0	2.0	2nx 3.5)	2.0	**)	**)	-	-	-	-

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Keterangan: **) = mengacu pada persyaratan ideal

*) = 2 jalur terbagi

- = tidak ditentukan

2.5.3 Trotoar atau Jalur Pejalan Kaki (*Side Walk*)

Trotoar adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pejalan kaki (pedestrian). Untuk keamanan pejalan kaki, maka trotoar ini harus dibuat terpisah dari jalur lalu lintas oleh struktur fisik berupa kereb. Perlu atau tidaknya trotoar yang disediakan sangat tergantung dari volume pedestrian dan volume lalu lintas pemakai jalan tersebut (Silvia Sukirman, 1994).

Lebar trotoar yang dibutuhkan ditentukan oleh volume pejalan kaki, tingkat pelayanan pejalan kaki yang diinginkan, dan fungsi jalan. Untuk itu lebar 1,5 – 3,0 m merupakan nilai yang umum dipergunakan.

2.5.4 Median

Median adalah jalur yang terletak di tengah jalan untuk membagi jalan dalam masing-masing arah. Secara garis besar, median berfungsi sebagai:

- a. Menyediakan daerah netral yang cukup lebar dimana pengemudi masih dapat mengontrol kendaraannya pada saat-saat darurat.
- b. Menyediakan jarak yang cukup untuk membatasi/mengurangi kesilauan terhadap lampu besar dari kendaraan yang berlawanan arah.
- c. Menambah rasa kelegaan, kenyamanan dan kendahan bagi setiap pengemudi.
- d. Mengamankan kebebasan samping dari masing-masing arah lalu lintas.

Untuk memenuhi keperluan-keperluan tersebut di atas, maka median serta batas-batasnya harus nyata oleh setiap mata pengemudi baik pada siang hari maupun pada malam hari serta segala cuaca dan keadaan. Lebar median bervariasi antara 1,0 – 12 meter.

2.5.5 Saluran Samping

Umumnya bentuk saluran samping trapesium atau empat persegi panjang. Untuk daerah perkotaan, dimana daerah pembebasan jalan sudah sangat terbatas, maka saluran samping dapat dibuat dari konstruksi beton yang berbentuk empat persegi panjang dan ditempatkan di bawah trotoar. Sedangkan di daerah pedalaman dimana pembebasan jalan bukan menjadi masalah, saluran samping umumnya dibuat berbentuk trapesium.

Saluran samping berguna untuk:

- a. Mengalirkan air dari permukaan perkerasan jalan ataupun dari bagian luar jalan.
- b. Menjaga supaya konstruksi jalan selalu berada dalam keadaan kering tidak terendam air.

2.5.6 Lapisan Perkerasan Jalan

Lapisan perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi yang dibangun diatas lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang berfungsi menanggung beban lalu lintas.

Lapisan perkerasan jalan dapat dibedakan atas lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, dan lapisan tanah dasar.

2.5.7 Ruang Manfaat Jalan (Rumaja)

Ruang manfaat jalan adalah ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi dan kedalaman tertentu yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan dan digunakan untuk badan jalan, saluran tepi jalan dan ambang pengamanannya. Badan jalan meliputi jalur lalu lintas, dengan atau tanpa jalur pemisah dan bahu jalan. Ruang manfaat jalan (Rumaja) dibatasi oleh:

- a. Lebar antara batas ambang pengaman konstruksi jalan dikedua sisi jalan.
- b. Tinggi 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan.
- c. Kedalaman ruang bebas 1,5 m di bawah muka jalan.

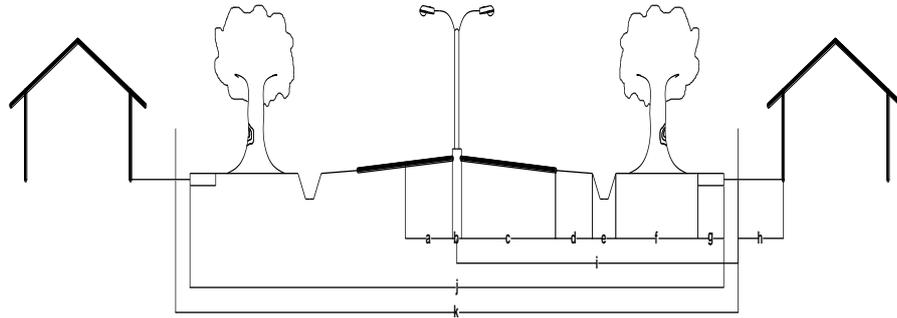
2.5.8 Ruang Milik Jalan (Rumija)

Ruang milik jalan adalah ruang manfaat jalan dan sejalur tanah tertentu di luar manfaat jalan yang diperuntukkan bagi ruang manfaat jalan, pelebaran jalan, penambahan jalur lalu lintas di masa datang serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan dan dibatasi oleh lebar, kedalaman dan tinggi tertentu.

Biasanya pada jarak tiap 1 km dipasang patok rumija berwarna kuning. Sejalur tanah tertentu di luar ruang manfaat jalan tetapi di dalam ruang milik jalan dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan keluasan keamanan penggunaan jalan antara lain untuk keperluan pelebaran ruang manfaat jalan dikemudian hari.

2.5.9 Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja)

Ruang pengawasan jalan adalah sejalur tanah tertentu yang terletak di luar ruang milik jalan, yang penggunaannya diawasi oleh Pembina Jalan, dengan maksud agar tidak mengganggu pandangan pengemudi dan konstruksi bangunan jalan serta fungsi jalan tersebut.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Jalan

Keterangan gambar:

a = Lajur lalu lintas

b = Median

c = Jalur lalu lintas

d = Bahu jalan

e = Saluran drainase

f = Jalur hijau

g = Jalur pejalan kaki

h = Ruang pengawasan jalan (ruwasja)

i = Sempadan bangunan

j = Ruang manfaat jalan (rumaja)

k = Ruang milik jalan (rumija)

2.6 Perencanaan Geometrik

2.6.1 Pengertian Perencanaan Geometrik

Perencanaan Geometrik jalan adalah perencanaan route dari suatu ruas jalan secara lengkap, meliputi beberapa elemen yang disesuaikan dengan kelengkapan dan data dasar yang ada atau tersedia dari hasil survei lapangan dan telah dianalisis, serta mengacu pada ketentuan yang berlaku (Ir. Hamirhan Saodang M.Sce, 2004: 20).

Silvia Sukirman (1994:17-18) menyatakan bahwa “Yang menjadi dasar perencanaan geometrik adalah sifat gerakan dan ukuran kendaraannya, sifat pengemudi dalam mengendalikan gerak kendaraannya, dan karakteristik arus lalu

lintas. Hal tersebut harus menjadi pertimbangan perencanaan sehingga dihasilkan bentuk dan ukuran jalan serta ruang gerak kendaraan yang memenuhi tingkat kenyamanan dan keamanan yang diharapkan”.

2.6.2 Data Perencanaan

Dalam pelaksanaan perencanaan geometrik konstruksi jalan raya membutuhkan data-data perencanaan yang meliputi data lalu lintas, data topografi, data penyelidikan tanah, data penyelidikan material dan data penunjang lainnya. Dengan adanya data-data ini, dapat ditentukan geometrik dan tebal perkerasan yang diperlukan dalam merencanakan suatu konstruksi jalan raya karena data ini memberikan gambaran yang sebenarnya dari lokasi suatu daerah dimana ruas jalan ini akan dibangun.

a. Data lalu lintas

Data lalu lintas adalah data utama yang diperlukan dalam perencanaan teknik jalan, karena kapasitas jalan yang akan direncanakan tergantung dari komposisi lalu lintas yang akan menggunakan pada suatu segmen jalan yang akan ditinjau. Besarnya volume atau arus lalu lintas diperlukan untuk menentukan jumlah dan lebar lajur, pada satu jalur dalam penentuan karakteristik geometrik, sedangkan jenis kendaraan akan menentukan kelas beban atau muatan sumbu terberat yang akan berpengaruh langsung pada perencanaan konstruksi perkerasan (Saodang, 2004:34)

Data arus lalu lintas merupakan informasi dasar bagi perencanaan dan desain suatu jalan. Data lalu lintas didapatkan dengan melakukan pendataan kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan, sehingga dari hasil pendataan ini dapat diketahui volume lalu lintas yang melintasi jalan tersebut. Data volume lalu lintas diperoleh dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam).

Shirley L.Hendarsin (2000:45-46) mengatakan bahwa untuk merencanakan teknik jalan baru, survey lalu lintas tidak dapat dilakukan karena belum ada jalan. Akan tetapi, untuk menentukan dimensi jalan tersebut diperlukan data jumlah kendaraan. Untuk itu dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Survei perhitungan lalulintas (*traffic counting*), dilakukan pada jalan yang sudah ada, yang diperkirakan mempunyai bentuk, kondisi dan keadaan komposisi lalulintas akan serupa dengan jalan yang direncanakan.
- 2) Survei asal dalam tujuan (*origin and destination survey*), dilakukan pada lokasi yang dianggap dapat mewakili, dengan cara melakukan wawancara kepada pengguna jalan untuk mendapatkan gambaran rencana jumlah dan komposisi kendaraan pada jalan yang direncanakan.

Volume lalulintas dinyatakan dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) yang didapat dengan mengalihkan atau mengonversi angka Faktor Ekuivalensi (FE) setiap kendaraan yang melintasi jalan tersebut dengan jumlah kendaraan yang kita peroleh dari hasil pendataan (km/jam). Volume lalulintas dalam SMP ini menunjukkan besarnya jumlah Lalulintas Harian Rata-rata (LHR) yang didapatkan untuk merencanakan tebal perkerasan.

Ekivalen mobil penumpang adalah angka satuan kendaraan dalam kapasitas jalan. Nilai emp untuk kendaraan rencana pada jalan antar kota seperti pada Tabel 2.7 berikut ini:

Tabel 2.7 Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp) untuk
Jalan Empat Lajur Dua Arah (4/2)

Tipe Alinyemen	Arus Total (kend/jam)		emp			
	Jalan terbagi per arah (kend/jam)	Jalan tak terbagi per arah (kend/jam)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	2,6	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: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

b. Data topografi

Survei topografi dalam perencanaan jalan dilakukan dengan tujuan memindahkan kondisi permukaan bumi dari lokasi yang diukur pada kertas yang berupa peta planimetri yang akan digunakan sebagai peta dasar dalam perencanaan geometrik jalan (Shirley L.Hendarsin, 2000:30)

Data peta topografi digunakan untuk menentukan kecepatan rencana sesuai dengan kondisi daerahnya. Pengukuran peta topografi dilakukan pada sepanjang trase jalan rencana dan pengukuran detail pada lokasi-lokasi tertentu yang memerlukan situasi detail, misalnya pada lokasi yang bersilangan dengan sungai atau jalan lain, sehingga trase jalan yang direncanakan akurat dan efisien sesuai dengan standar.

Pekerjaan pengukuran ini terdiri dari beberapa kegiatan berikut:

- 1) Pekerjaan perintisan untuk pengukuran, yaitu membuka sebagian lokasi yang akan diukur agar pengukuran tidak terhalangi oleh semak/perdu.
- 2) Kegiatan pengukuran, meliputi:
 - (a) Penentuan titik-titik kontrol vertikal dan horizontal.
 - (b) Penentuan situasi selebar kiri dan kanan dari jalan yang dimaksud dan disebutkan serta tata guna lahan disekitar trase jalan.
 - (c) Pengukuran penampang melintang (*cross section*) dan penampang memanjang.
 - (d) Perhitungan perencanaan desain jalan dan penggambaran peta topografi berdasarkan titik-titik koordinat kontrol di atas.

Berdasarkan besarnya lereng melintang dengan arah kurang lebih tegak lurus sumbu jalan raya, jenis medan dibagi menjadi 3 golongan umum seperti pada Tabel 2.8 berikut ini:

Tabel 2.8 Klasifikasi Menurut Medan Jalan

Golongan Medan	Lereng Melintang
Datar (D)	0% - 9,9%
Perbukitan (B)	10% - 24,9%
Gunung (G)	$\geq 25\%$

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

c. Data penyelidikan tanah

Tanah dasar dapat terdiri dari tanah dasar asli, tanah dasar tanah galian atau tanah dasar tanah urug yang disiapkan dengan cara diadatkan (Silvia Sukirman, 2010:55). Data penyelidikan tanah dasar didapat dengan cara melakukan penyelidikan tanah di lapangan, meliputi pekerjaan:

- 1) Penelitian terhadap semua kondisi tanah yang ada pada proyek jalan tersebut, dilakukan berdasarkan survei langsung di lapangan maupun dengan pemeriksaan di laboratorium. Pengambilan data *California Bearing Ratio* (CBR) di lapangan dilakukan sepanjang ruas rencana, dilakukan setiap jarak 250 m. Penentuan nilai CBR dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu grafis dan analitis.
- 2) Membakukan analisa pada contoh tanah yang terganggu dan tidak terganggu, *American Standard Testing and Materials* (ASTM) dan *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) maupun standar yang berlaku di Indonesia.

d. Data penyelidikan material

Untuk menentukan bahan konstruksi jalan atau *highway materials*, dilakukan survey pada lokasi-lokasi sumber material (*quarry*) yang berada pada daerah sepanjang trase jalan dengan pertimbangan ekonomis, tetapi apabila tidak ditemukan, maka dilakukan survey pada daerah disekitarnya. Data penyelidikan material dilakukan dengan melakukan penyelidikan material meliputi pekerjaan sebagai berikut:

- 1) Mengadakan penelitian terhadap semua data material yang ada, selanjutnya melakukan penyelidikan sepanjang proyek tersebut yang akan dilakukan berdasarkan survey di lapangan maupun dengan pemeriksaan laboratorium.
- 2) Penyelidikan lokasi sumber material yang ada beserta perkiraan jumlahnya untuk pekerjaan-pekerjaan penimbunan pada jalan dan jembatan serta bangunan pelengkap jalan.

2.6.3 Parameter Perencanaan

Dalam perencanaan geometrik jalan, terdapat beberapa parameter perencanaan yang harus dipahami seperti, kendaraan rencana, kecepatan rencana, volume dan kapasitas jalan serta tingkat pelayanan yang diberikan oleh jalan tersebut. Parameter-parameter ini merupakan penentu tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan (Silvia Sukirman, 1999:37).

a. Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana adalah kendaraan yang dimensi dan radius putarnya dipakai sebagai acuan dalam perencanaan geometrik. Untuk perencanaan, setiap kelompok diwakili oleh satu ukuran standar. Dan ukuran standar kendaraan rencana untuk masing-masing kelompok adalah ukuran terbesar yang mewakili kelompoknya.

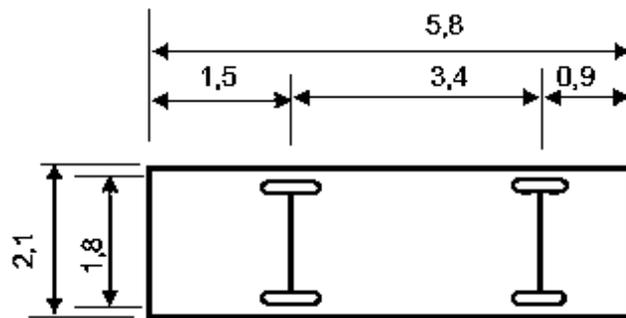
Dimensi kendaraan bermotor untuk keperluan perencanaan geometrik jalan ditetapkan seperti pada Tabel 2.9 berikut:

Tabel 2.9 Dimesi Kendaraan Rencana

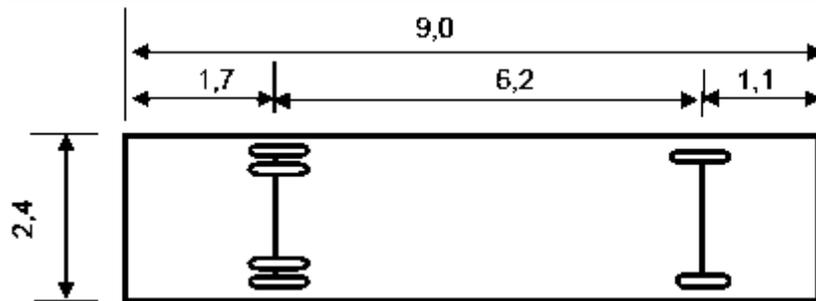
Jenis Kendaraan Rencana	Simbol	Dimensi Kendaraan			Dimensi Tonjolan		Radius Putar Minimum	Radius Tonjolan Minimum
		Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang		
Mobil Penumpang	P	1,3	2,1	5,8	0,9	1,5	7,3	4,4
Truk As Tunggal	SU	4,1	2,4	9,0	1,1	1,7	12,8	8,6
Bis Gandengan	A-BUS	3,4	2,5	18,0	2,5	2,9	12,1	6,5
Truk Semitrailer Kombinasi Sedang	WB-12	4,1	2,4	13,9	0,9	0,8	12,2	5,9
Truk Semitrailer Kombinasi Besar	WB-15	4,1	2,5	16,8	0,9	0,6	13,7	5,2
<i>Conventional School Bus</i>	SB	3,2	2,4	10,9	0,8	3,7	11,9	7,3
<i>City Transit Bus</i>	CB	3,2	2,5	12,0	2,0	2,3	12,8	7,5

Sumber: RSNI Geometrik Jalan Perkotaan, 2004

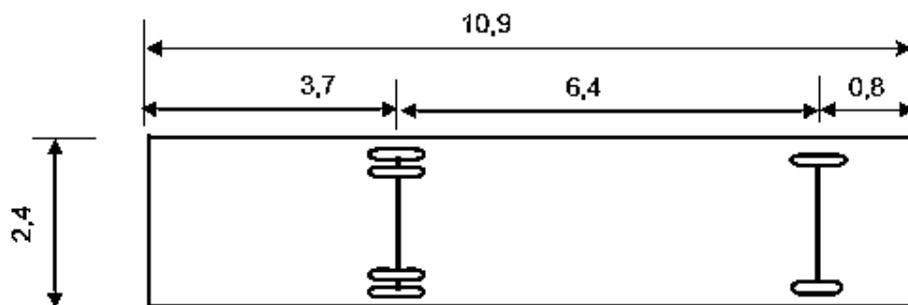
Gambar 2.2 s.d. gambar 2.8 berikut menampilkan sketsa dimensi kendaraan rencana berdasarkan Tabel 2.6:



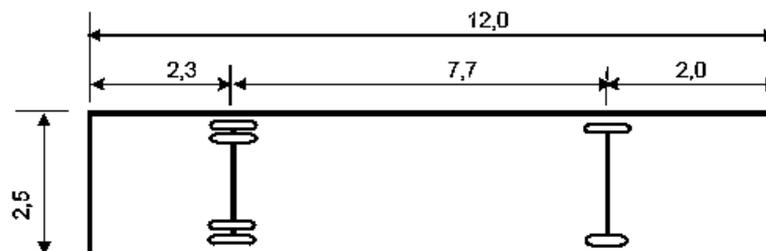
Gambar 2.2 Kendaraan Penumpang (P)



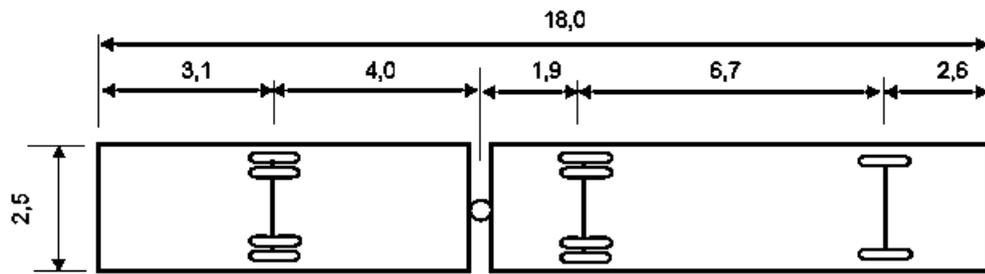
Gambar 2.3 Kendaraan Truk As Tunggal (SU)



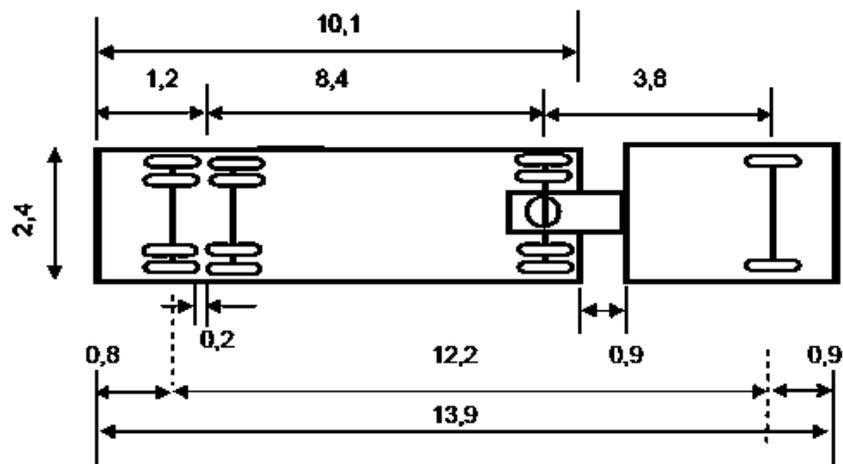
Gambar 2.4 Kendaraan Bus Sekolah (SB)



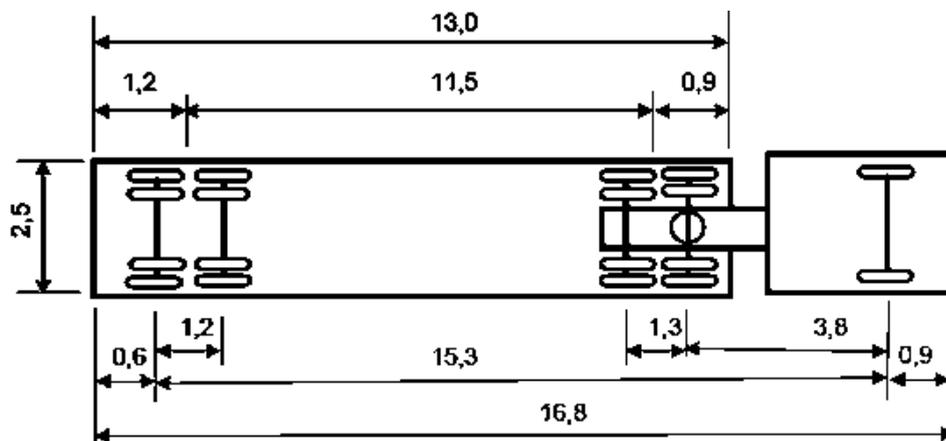
Gambar 2.5 Kendaraan *City Bus* (CB)



Gambar 2.6 Kendaraan Bus Tempel atau Gandengan (A-BUS)



Gambar 2.7 Kendaraan Semitrailer Kombinasi Sedang (WB-12)



Gambar 2.8 Kendaraan Semitrailer Kombinasi Besar (WB-15)

b. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan pada suatu ruas jalan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan seperti, tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang dan lain-lain. Kecepatan yang dipilih tersebut adalah kecepatan

tertinggi menerus dimana kendaraan dapat berjalan dengan aman dan keamanan itu sepenuhnya dari bentuk jalan, dimana kecepatan rencana (V_R) untuk suatu ruas jalan dengan kelas dan fungsi yang sama dianggap sama sepanjang ruas jalan tersebut.

Kecepatan rencana (V_R) pada ruas jalan merupakan kecepatan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti. Untuk kondisi medan yang sulit, kecepatan rencana suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 Km/jam. Kecepatan rencana untuk masing-masing fungsi jalan dapat ditetapkan dari Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kecepatan Rencana (V_R) sesuai Klasifikasi Fungsi dan Medan Jalan

Fungsi Jalan	Kecepatan Rencana (V_R), Km/jam		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	70 - 120	60 - 80	40 - 70
Kolektor	60 - 90	50 - 60	30 - 50
Lokal	40 - 70	30 - 50	20 - 30

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

c. Volume dan Kapasitas Jalan

Sebagai pengukur jumlah dari arus lalu lintas, maka digunakan “volume”. Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Volume lalu lintas yang tinggi membutuhkan lebar perkerasan jalan yang lebih lebar sehingga tercipta kenyamanan dan keamanan (Silvia Sukirman, 1999:42-43).

Menurut Silvia Sukirman (1999:43) Satuan lalu lintas yang digunakan sehubungan dengan jumlah dan lebar lajur adalah:

1) Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh data tersebut dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata, yaitu Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) dan Lalu Lintas Harian Rencana (LHR).

(a) Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

Merupakan hasil bagi dari jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya Pengamatan}} \dots\dots\dots (2.1)$$

(b) Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT)

Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam satu tahun}}{365 \text{ hari}} \dots\dots\dots (2.2)$$

2) Volume Jam Rencana

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, No. 038 Tahun 1997, volume arus lalu lintas harian rencana (VLHR) adalah prakiraan volume arus lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam SMP/hari. Sedangkan volume arus lalu lintas jam rencana adalah prakiraan volume arus lalu lintas pada jam sibuk tahun rencana lalu lintas, dinyatakan dalam satuan smp/jam dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{DH} = \text{LHRT} \times k \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Q_{DH} = Volume jam rencana

k = Faktor volume arus lalu lintas jam sibuk

Volume jam rencana digunakan untuk menghitung jumlah lajur jalan dan fasilitas lalu lintas lainnya yang diperlukan. Arus lalu lintas bervariasi dari jam ke jam berikutnya dalam satu hari. Volume satu jam yang dapat dipergunakan sebagai volume jam rencana harus sedemikian rupa, sehingga:

(a) Volume tidak boleh terlalu sering terdapat pada distribusi arus lalu lintas setiap jam untuk periode satu tahun.

- (b) Apabila terdapat volume arus lalu lintas per jam yang melebihi volume jam perencanaan, maka kelebihan tidak boleh terlalu besar.
- (c) Volume tidak boleh mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga akan mengakibatkan biaya yang mahal.

Tabel 2.11 Penentuan Faktor-K dan Faktor-F Berdasarkan Volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (VLHR)

VLHR (SMP/Hari)	Faktor-K(%)	Faktor-F(%)
> 50.000	4 - 6	0,90 - 1
30.000-50.000	6 - 8	0,80 - 1
10.000-30.000	6 - 8	0,80 - 1
5.000-10.000	8 - 10	0,60 - 0,80
1.000-5.000	10 - 12	0,60 - 0,80
< 1.000	12 - 16	< 0,60

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 1997)

3) Kapasitas Jalan

(a) Kapasitas

Kapasitas adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melewati suatu penampang jalan pada jalur jalan selama 1 jam dengan kondisi serta arus lalu lintas tertentu (Silvia Sukirman, 1999:46). Kapasitas jalan akan menunjukkan jumlah arus lalu lintas yang maksimum dapat melewati penampang tersebut dalam waktu 1 jam sesuai kondisi jalan.

Rumus umumnya:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots (2.4).$$

Dimana:

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisah arah

FC_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping

Tabel 2.12 Kapasitas Dasar (Co) pada Jalan Luar Kota 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: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas ditentukan berdasarkan lebar jalan efektif yang dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Jalur Lalu Lintas (FCw)

Tipe	Lebar Jalan Efektif (Wc)(m)	FCw
Empat-lajur terbagi Enam-lajur terbagi	Per Lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat-lajur tak terbagi	Per Lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua-lajur tak terbagi	Total kedua arah	
	5	0,69
	6	0,91
	7	1,00
	8	1,08
	9	1,15
	10	1,21
11	1,27	

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.14 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisahan Arah (FCsp)

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
	Empa-lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.15 Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping (FCsf)

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping (FCsf)			
		Lebar Bahu Efektif (WS)			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 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: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

(b) Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus jalan terhadap kapasitas, yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkar kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Persamaan dasar untuk menentukan derajat kejenuhan adalah sebagai berikut:

$$DS = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

DS = Derajat Kejenuhan

Q = Arus Lalu Lintas (smp/Jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang dinyatakan dalam smp/jam, untuk perilaku lalu lintas berupa kecepatan.

Tabel 2.16 Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat Pelayanan	Karakteristik	Batas Lingkup (Q/C)
A	Arus Bebas; Volume rendah dan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang dikehendaki	0,00-0,20
B	Arus Stabil; Kecepatan sedikit terbatas oleh lalu lintas	0,20-0,44
C	Arus Stabil; Kecepatan dikontrol oleh lalu lintas	0,45-0,74
D	Arus mendekati tidak stabil; Kecepatan menurun akibat hambatan yang timbul dan kebebasan bergerak relative kecil	0,75-0,84
E	Arus tidak stabil; Kecepatan rendah dan berbeda-beda terkadang berhenti, volume mendekati kapasitas	0,85-1,00
F	Arus yang dipaksakan atau macet; Kecepatan rendah, volume dibawah kapasitas, terjadi hambatan besar	>1,00

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 1997)

d. Jarak Pandang

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Jalan Antar Kota No. 038 tahun 1997, jarak pandang adalah suatu jarak yang diperlukan oleh seorang pengemudi pada saat pengemudi melihat suatu halangan yang membahayakan sehingga pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman.

Jarak pandang dibedakan menjadi dua jenis jarak pandang, yaitu jarak pandang henti (Jh) dan jarak pandang mendahului (Jd).

1) Jarak Pandang Henti (Jh)

Jarak pandang henti adalah jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat adanya halangan di depan. Setiap titik disepanjang jalan harus memenuhi ketentuan jarak pandang henti. Jarak pandang henti diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan 15 cm diukur dari permukaan jalan.

Jarak pandang henti terdiri atas 2 elemen jarak, yaitu:

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

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

Berdasarkan Shirley L. Hendarsin (2000:90) jarak pandang henti dalam satuan meter, dapat dihitung dengan rumus:

$$Jh = Jht + Jhr \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Jh = \frac{V_R}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_R}{3,6}\right)^2}{2g \cdot fp} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

(a) Untuk jalan datar

$$Jh = 0,278 \times V_r \times T + \frac{V_r^2}{254 \times fp} \dots\dots\dots(2.8)$$

(b) Untuk jalan dengan kelandaian tertentu

$$Jh = 0,278 \times V_r \times T + \frac{V_r^2}{254 \times fp \pm L} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

V_r = Kecepatan rencana (km/jam)

T = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

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

fp = Koefisien gesek memanjng perkerasan jalan aspal, ditetapkan 0,35 – 0,55 (menurut Bina Marga)

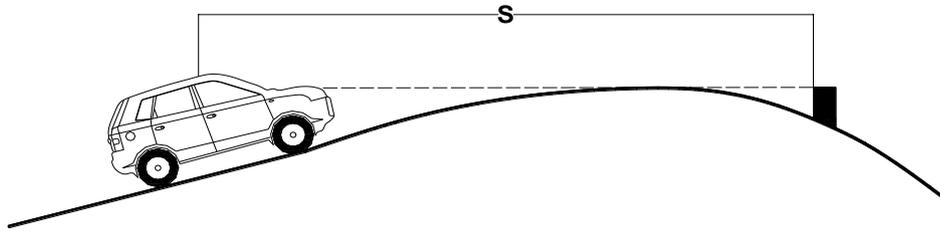
L = Landai jalan dalam (%) dibagi 100

Tabel 2.17 Jarak Pandang Henti (Jh) Minimum

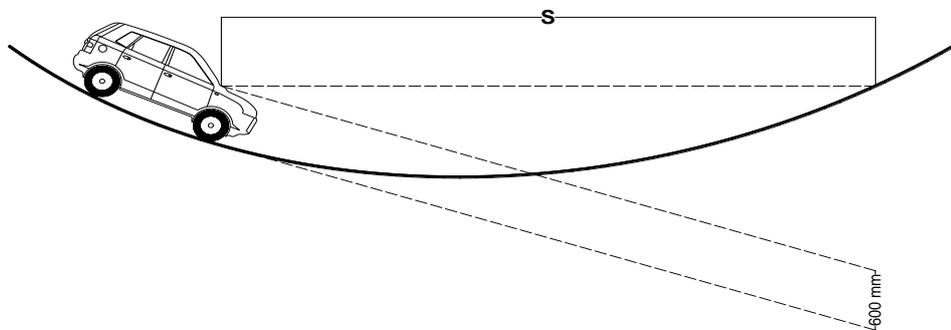
V_r (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jh Minimum	250	175	120	75	55	40	27	16

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Jarak pandang henti dapat dilihat pada gambar 2.9 dan gambar 2.10 berikut ini:



Gambar 2.9 Jarak Pandang Henti pada Lengkung Vertikal Cembung



Gambar 2.10 Jarak Pandang Henti pada Lengkung Vertikal Cekung

2) Jarak Pandang Mendahului

Jarak pandang mendahului adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula. Jarak pandang diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 15 cm.

Berdasarkan Shirley L. Hendarsin (2000:92) Rumus yang digunakan:

$$Jd = d1 + d2 + d3 + d4 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$d1$ = Jarak yang ditempuh selama waktu tanggap (m)

$d2$ = Jarak yang ditempuh selama mendahului sampai dengan kembali ke lajur semula (m)

$d3$ = Jarak antara kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (m)

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

Adapun rumusan estimasi d_1 , d_2 , d_3 dan d_4 adalah sebagai berikut:

$$d_1 = 0,278 T_1 \left(V_R - m + \frac{a \cdot T_1}{2} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$d_2 = 0,278 V_R T_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$d_3 = \text{antara } 30 - 100 \text{ m} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$d_4 = \frac{2}{3} \cdot d_2 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

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

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

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

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

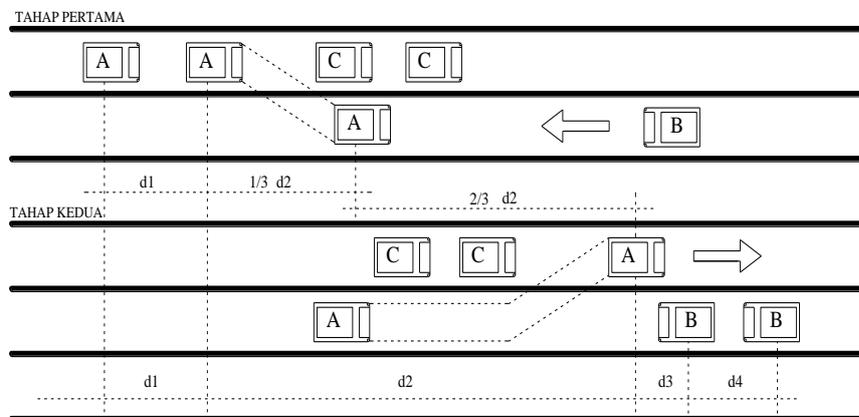
Daerah mendahului harus disebar disepanjang jalan denga jumlah panjang minimum 30% dari panjang total ruas jalan tersebut. Jarak pandang mendahului minimum dapat dilihat pada Tabel 2.18

Tabel 2.18 Jarak Pandang Mendahului (J_d) berdasarkan V_R

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Jarak pandang mendahului dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Diagram Pergerakan Kendaraan untuk Mendahului

- Ket:
- A = Kendaraan yang mendahului
 - B = Kendaraan yang berlawanan arah
 - C = Kendaraan yang didahului kendaraan A

2.7 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal dikenal juga dengan nama “situasi jalan” atau “trase jalan”. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja (Silvia Sukirman, 1999:67).

Dalam perencanaan garis lurus atau bagian jalan yang lurus perlu dipertimbangkan keselamatan pemakai jalan akibat kelelahan pengemudi dimana panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu $\leq 2,5$ menit (V_R). Nilai panjang bagian lurus maksimum dapat dilihat pada Tabel 2.19:

Tabel 2.19 Panjang Bagian Lurus Maksimum

Fungsi Jalan	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Pada saat kendaraan melalui tikungan akan terjadi gesekan arah melintang jalan antara ban kendaraan dengan permukaan aspal yang menimbulkan gaya gesekan melintang dengan gaya normal disebut koefisien gesekan melintang. Untuk menghindari terjadinya kecelakaan, maka untuk kecepatan tertentu ditentukan jari-jari minimum untuk superelevasi maksimum dapat dilihat pada Tabel 2.20 berikut ini :

Tabel 2.20 Panjang Jari-jari Minimum untuk $e_{maks} = 10\%$

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Pada perencanaan garis-garis lengkung peralihan atau tikungan perlu dilakukan perhitungan kemiringan melintang jalan atau superelevasi, karena pada tikungan akan bekerja gaya yang dapat mendorong kendaraan secara radial keluar jalur yang disebut gaya sentrifugal. Superelevasi bertujuan untuk memperoleh

komponen berat kendaraan untuk mengimbangi gaya sentrifugal. Semakin besar superelevasi, maka semakin besar komponen berat kendaraan yang diperoleh.

Desain alinyemen horizontal sangat dipengaruhi oleh kecepatan rencana yang ditentukan berdasarkan tipe dan kelas jalan. Menurut Silvia Sukirman (1999:120) ada 3 bentuk lengkung horizontal atau tikungan, yaitu:

- a. Tikungan *Full Circle (FC)*
- b. Tikungan *Spiral – Circle – Spiral (SCS)*
- c. Tikungan *Spiral – Spiral (SS)*

2.7.1 Tikungan *Full Circle (FC)*

Tikungan *Full Circle* adalah jenis tikungan yang terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Tikungan *Full Circle* hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan superelevasi yang besar (Shirley L. Hendarsin, 2000:96). Jari-jari tikungan jenis *Full Circle* ditunjukkan pada Tabel 2.21:

Tabel 2.21 Jari-jari Tikungan yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Rumus yang digunakan pada perencanaan tikungan *Full Circle*, yaitu:

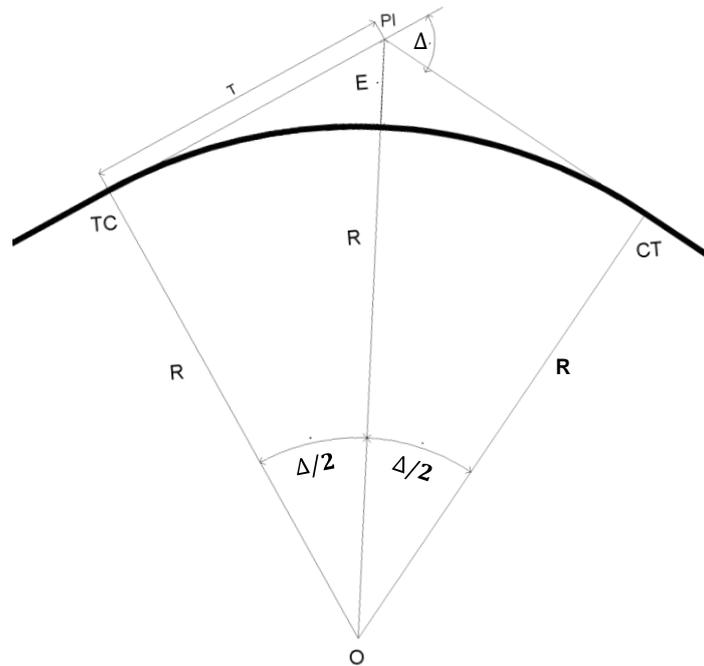
$$T = R \cdot \tan \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$E = T \cdot \tan \frac{\Delta}{4} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$L_c = \frac{\Delta}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

- Δ = Sudut tangen ($^\circ$)
- Tc = Panjang tangen jarak dari TC ke PI ke CT (m)
- Rc = Jari-jari lingkaran (m)
- Ec = Panjang luar PI ke busur lingkaran (m)
- Lc = Panjang busur lingkaran (m)



Gambar 2.12 Tikungan *Full Circle*

2.7.2 Tikungan *Spiral - Circle - Spiral*

Tikungan ini terdiri dari bagian lingkaran (*circle*) dan dua lengkung peralihan (*spiral*) yang diletakkan sebelum dan sesudah busur lingkaran. Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba-tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran (Shirley L. Hendarsin, 2000:96).

Panjang lengkung peralihan (L_s), menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997, diambil nilai terbesar dari tiga persamaan berikut ini:

- a. Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik) untuk melintasi lengkung peralihan, maka panjang lengkung:

$$L_s = \frac{V_R}{3,6} \cdot T \dots\dots\dots(2.18)$$

- b. Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal:

$$L_s = 0,022 \cdot \frac{V^3}{R_c \cdot C} - 2,727 \cdot \frac{V \cdot e}{C} \dots\dots\dots(2.19)$$

- c. Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian:

$$L_s = \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot \Gamma e} \cdot V_R \dots\dots\dots(2.20)$$

- d. Berdasarkan Tabel Hubungan antara jari-jari radius dengan kecepatan rencana(2.21)

Dimana:

T = Waktu tempuh = 3 detik

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

e = Superelevasi

C = Perubahan percepatan, 0,3 – 1,0 (disarankan 0,4 m/det³)

R_c = Jari-jari busur lingkaran (m)

e_m = Superelevasi maksimum

e_n = Superelevasi minimum

Γ_e = Tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang jalan

- Untuk $V_R \leq 70$ km/jam, $\Gamma_e = 0,035$ m/m/det

- Untuk $V_R \geq 80$ km/jam, $\Gamma_e = 0,025$ m/m/det

Adapun ketentuan dan rumus yang digunakan untuk jenis tikungan *Spiral – Circle – Spiral* adalah sebagai berikut:

$$\theta_s = \frac{90^\circ}{\pi} \cdot \frac{L_s}{R} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_s \dots\dots\dots(2.23)$$

$$L_c = \frac{\Delta_c}{180^\circ} \cdot \pi \cdot R \dots\dots\dots(2.24)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6R} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$X_s = L_s \left[1 - \frac{L_s^2}{40 R^2} \right] \dots\dots\dots(2.26)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6R} - R (1 - \cos \theta_s) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R^2} - R \cdot \sin \theta_s \dots\dots\dots(2.28)$$

$$T_s = (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots(2.29)$$

$$E_s = (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \dots\dots\dots (2.30)$$

$$L = L_c + 2L_s \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

θ_s = Sudut lengkung spiral ($^\circ$)

Δ_c = Sudut lengkung *Circle* ($^\circ$)

L_c = Panjang busur lingkaran (jarak SC – CS), (m)

Y_s = Ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen(m)

X_s = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS – SC (jarak lurus lengkung peralihan), (m)

p = Pergeseran tangen terhadap *spiral* (m)

k = Absis p pada garis tangen *spiral* (m)

T_s = Jarak tangen dari PI ke TS atau ST (m)

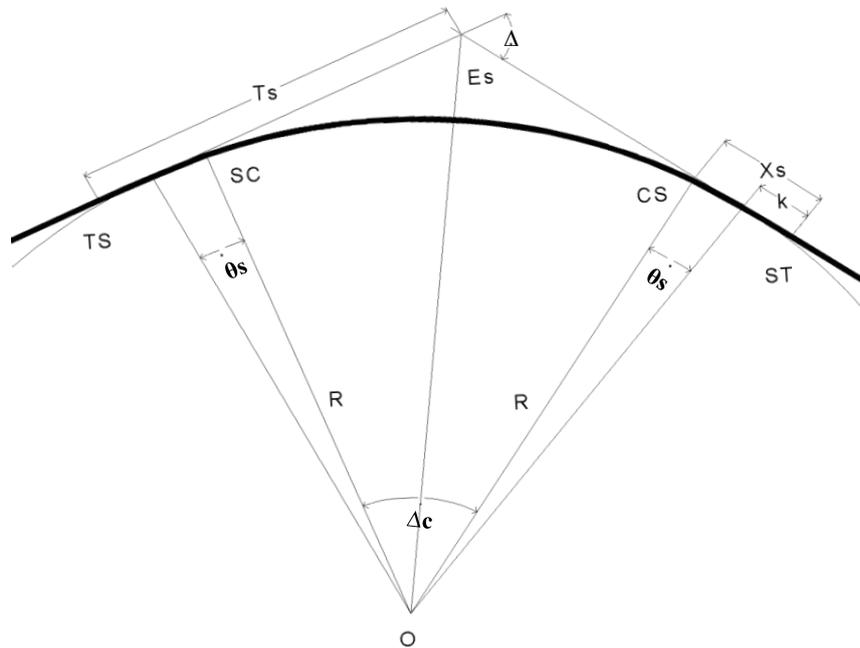
E_s = Jarak dari PI ke puncak busur lingkaran (m)

L = Panjang tikungan *SCS* (m)

Dengan kontrol jika:

a. $L_c < 25$, maka sebaiknya digunakan tikungan jenis S-S.

b. $P = \frac{L_s^2}{24 \cdot R_c} < 0,25$ m, maka digunakan tikungan jenis F-C



Gambar 2.13 Tikungan *Spiral – Circle – Spiral*

2.7.3 Tikungan *Spiral - Spiral*

Tikungan ini merupakan tikungan yang terdiri lengkung horizontal berbentuk *spiral – spiral* tanpa busur lingkaran, sehingga titik SC berimpit dengan titik CS (Silvia Sukirman, 1999:134). Adapun ketentuan dan rumus yang digunakan untuk jenis tikungan *spiral – spiral* adalah sebagai berikut:

$$\theta_s = \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots (2.32)$$

$$L_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{360^\circ} \cdot 2 \theta_s \dots\dots\dots (2.33)$$

$$L_c = 0 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$T_s = (R + p) \cdot \tan \frac{\Delta}{2} + k \dots\dots\dots (2.35)$$

$$E_s = (R + p) \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R \dots\dots\dots (2.36)$$

$$L = 2 \cdot L_s \dots\dots\dots (2.37)$$

$$K = k^* \times L_s \dots\dots\dots (2.38)$$

$$P = p^* \times L_s \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana:

Ls = Panjang lengkung peralihan (jarak TS – SC atau CS – ST), (m)

L_c = Panjang busur lingkaran (jarak SC – CS), (m)

Δ = Sudut tikungan ($^\circ$)

θ_s = Sudut lengkung *spiral* ($^\circ$)

R = Jari-jari tikungan (m)

p = pergeseran tangen terhadap *spiral* (m)

k = Absis p pada garis tangen *spiral* (m)

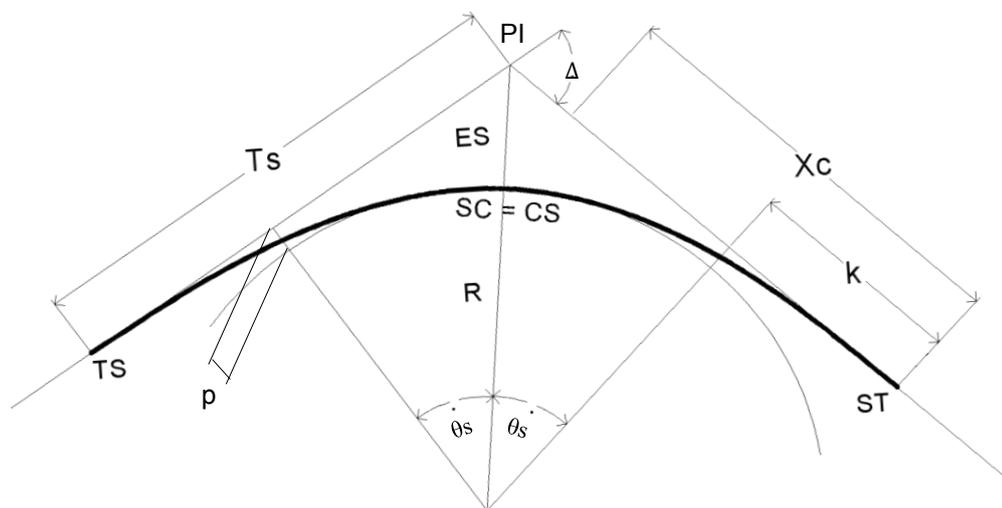
L = Panjang tikungan S-S (m)

Tabel 2.22 Tabel p^* dan k^* , untuk $L_s = 1$

$qs(^*)$	p^*	k^*	$qs(^*)$	p^*	k^*	$qs(^*)$	p^*	k^*
0,5	0,0007272	0,4999987	14,0	0,0206655	0,4989901	27,5	0,0422830	0,4959406
1,0	0,0014546	0,4999949	14,5	0,0214263	0,4989155	28,0	0,0431365	0,4957834
1,5	0,0021820	0,4999886	15,0	0,0221896	0,4988381	28,5	0,0439946	0,4956227
2,0	0,0029098	0,4999797	15,5	0,0229553	0,4987580	29,0	0,0448572	0,4954585
2,5	0,0036378	0,4999683	16,0	0,0237236	0,4986750	29,5	0,0457245	0,4952908
3,0	0,0043663	0,4999543	16,5	0,0244945	0,4985892	30,0	0,0465966	0,4951196
3,5	0,0050953	0,4999377	17,0	0,0252681	0,4985005	30,5	0,0474735	0,4949448
4,0	0,0058249	0,4999187	17,5	0,0260445	0,4984090	31,0	0,0483550	0,4947665
4,5	0,0065551	0,4998970	18,0	0,0268238	0,4983146	31,5	0,0492422	0,4945845
5,0	0,0072860	0,4998728	18,5	0,0276060	0,4982172	32,0	0,0501340	0,4943988
5,5	0,0080178	0,4998461	19,0	0,0283913	0,4981170	32,5	0,0510310	0,4942094
6,0	0,0094843	0,4998167	19,5	0,0291797	0,4980137	33,0	0,0519333	0,4940163
6,5	0,0102191	0,4997848	20,0	0,0299713	0,4979075	33,5	0,0528408	0,4938194
7,0	0,0109550	0,4997503	20,5	0,0307662	0,4977983	34,0	0,0537536	0,4936187
7,5	0,0116922	0,4997132	21,0	0,0315644	0,4976861	34,5	0,0546719	0,4934141
8,0	0,0124307	0,4997350	21,5	0,0323661	0,4975708	35,0	0,05559557	0,4932057

8,5	0,0131706	0,4993120	22.0	0.0331713	0.4974525	35.5	0.0562500	0.4929933
9,0	0,0139121	0,4995862	22.5	0.0339801	0.4973311	36.0	0.0574601	0.4927769
9,5	0,0146551	0,4995387	23.0	0.0347926	0.4972065	36.5	0.0584008	0.4925566
10,0	0,0153997	0,4994884	23.5	0.0356088	0.490788	37.0	0.0593473	0.4923322
10,5	0,0161461	0,4994356	24.0	0.0364288	0.496979	37.5	0.0602997	0.4921037
11,0	0,0161461	0,4993800	24.5	0.0372528	0.4968139	38.0	0.0612581	0.4918711
11,5	0,0168943	0,4993218	25.0	0.0380807	0.4966766	38.5	0.0622224	0.4916343
12,0	0,0176444	0,4992609	25.5	0.0389128	0.495360	39.0	0.0631929	0.4913933
12,5	0,0183965	0,4991973	26.0	0.0397489	0.4963922	39.5	0.0641694	0.4911480
13,0	0,0191507	0,4991310	26.5	0.0405893	0.4962450	40.0	0.0651522	0.4908985
13,5	0,0199070	0,4990619	27.0	0.0414340	0.4960945			

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)



Gambar 2.14 Tikungan *Spiral – Spiral*

2.7.4 Diagram Superelevasi

Penggambaran superelevasi dilakukan untuk mengetahui kemiringan jalan pada bagian tertentu yang berfungsi untuk mempermudah dalam pekerjaan atau pelaksanaan di lapangan. Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan

normal (en) pada jalan yang lurus sampai kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.

Pada tikungan *Full Circle* (FC) karena lengkung hanya berbentuk busur lingkaran saja, maka pencapaian superelevasi dilakukan sebagian pada jalan lurus dan sebagian lagi pada bagian lengkung. Karena bagian lengkung peralihan itu sendiri tidak ada, maka panjang daerah pencapaian kemiringan disebut sebagai panjang peralihan fiktif (L_s'). Bina Marga menempatkan $3/4 L_s'$ dibagian lurus (kiri TC atau kanan CT) dan $1/4 L_s'$ ditempatkan di bagian lengkung (kanan TC atau kiri CT). Sedangkan AASHTO menempatkan $2/3 L_s'$ di bagian lurus (kiri TC atau kanan CT) dan $1/3 L_s'$ ditempatkan di bagian lengkung (kanan TC atau kiri CT).

Pada tikungan SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linier mulai dari bentuk normal pada bagian lurus sampai bentuk superelevasi penuh pada bagian akhir lengkung peralihan SC. Pada tikungan SS, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral. Superelevasi tidak diperlukan jika jari-jari (R) cukup besar untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP) atau bahkan tetap dipertahankan sebesar lereng normal (LN). Untuk nilai panjang lengkung peralihan minimum dan superelevasi dapat dilihat pada Tabel 2.23 di bawah ini.

Penggambaran superelevasi dilakukan untuk mengetahui kemiringan-kemiringan jalan pada bagian tertentu yang berfungsi untuk mempermudah dalam pekerjaannya dan pelaksanaannya di lapangan. Diagram superelevasi digambarkan berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Ada tiga cara dalam menggambarkan diagram superelevasi, yaitu:

- a. Sumbu jalan dipergunakan sebagai sumbu putar.
- b. Tepi perkerasan jalan sebelah dalam digunakan sebagai sumbu putar.
- c. Tepi perkerasan jalan sebelah luar digunakan sebagai sumbu putar.

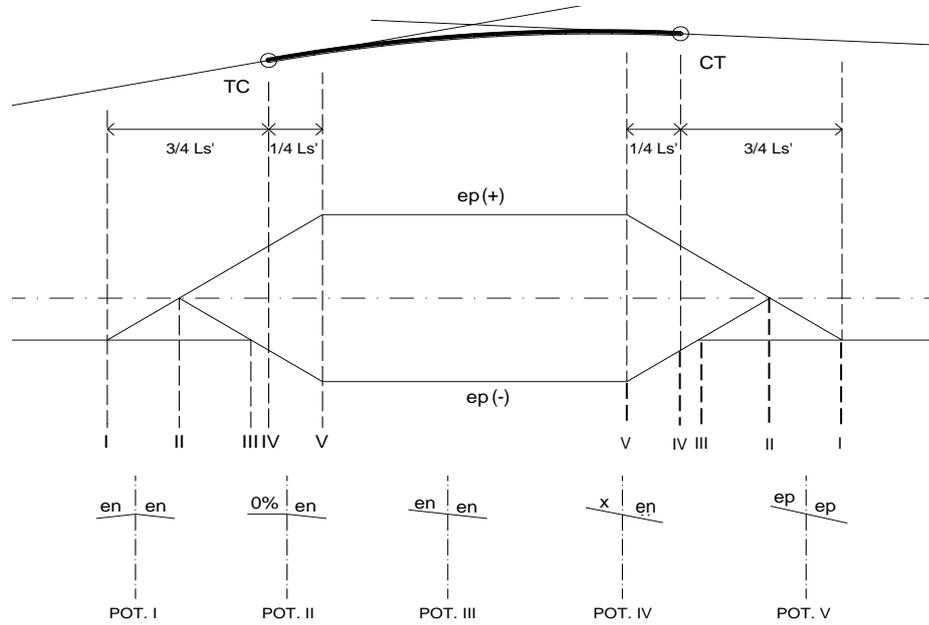
Tabel 2.23 Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang dibutuhkan ($e_{maks} = 10\%$, metode Bina Marga)

D	R	V= 50 km/jam		V = 60 km/jam		V=70 km/jam		V= 80 km/jam		V= 90 km/jam	
		Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls	Ls
0.250	5730	Ln	45	LN	50	LN	60	LN	70	LN	75
0.500	2865	Ln	45	LN	50	LP	60	LP	70	LP	75
0.750	1910	Ln	45	LP	50	LP	60	0.020	70	0.025	75
1.000	1432	Lp	45	LP	50	0.021	60	0.027	70	0.033	75
1.250	1146	Lp	45	LP	50	0.025	60	0.033	70	0.040	75
1.500	955	Lp	45	0.023	50	0.030	60	0.038	70	0.047	75
1.750	955	Lp	45	0.026	50	0.035	60	0.044	70	0.054	75
2.000	819	Lp	45	0.029	50	0.039	60	0.049	70	0.060	75
2.500	716	0.026	45	0.036	50	0.047	60	0.059	70	0.072	75
3.000	573	0.030	45	0.042	50	0.055	60	0.068	70	0.081	75
3.500	477	0.035	45	0.048	50	0.062	60	0.076	70	0.089	75
4.000	409	0.039	45	0.054	50	0.068	60	0.082	70	0.095	75
4.500	358	0.043	45	0.059	50	0.074	60	0.088	70	0.099	75
5.000	318	0.048	45	0.064	50	0.079	60	0.093	70	0.100	75
6.000	286	0.055	45	0.073	50	0.088	60	0.098	70	Dmaks = 5,12	
7.000	239	0.062	45	0.080	60	0.094	60	D maks = 6,82			
8.000	205	0.068	45	0.086	60	0.098	60				
9.000	179	0.074	45	0.091	60	0.099	60				
10.000	143	0.079	45	0.095	60	D maks = 9,12					
11.000	130	0.083	45	0.098	60						
12.000	119	0.087	45	0.100	60						
13.000	110	0.091	45	D maks = 12,79							
14.000	102	0.093	45								
15.000	96	0.096	45								
16.000	90	0.097	45								
17.000	84	0.099	45								
18.000	80	0.099	45								
19.000	75	D maks = 18,8									

(Sumber : Silvia Sukirman, 1999)

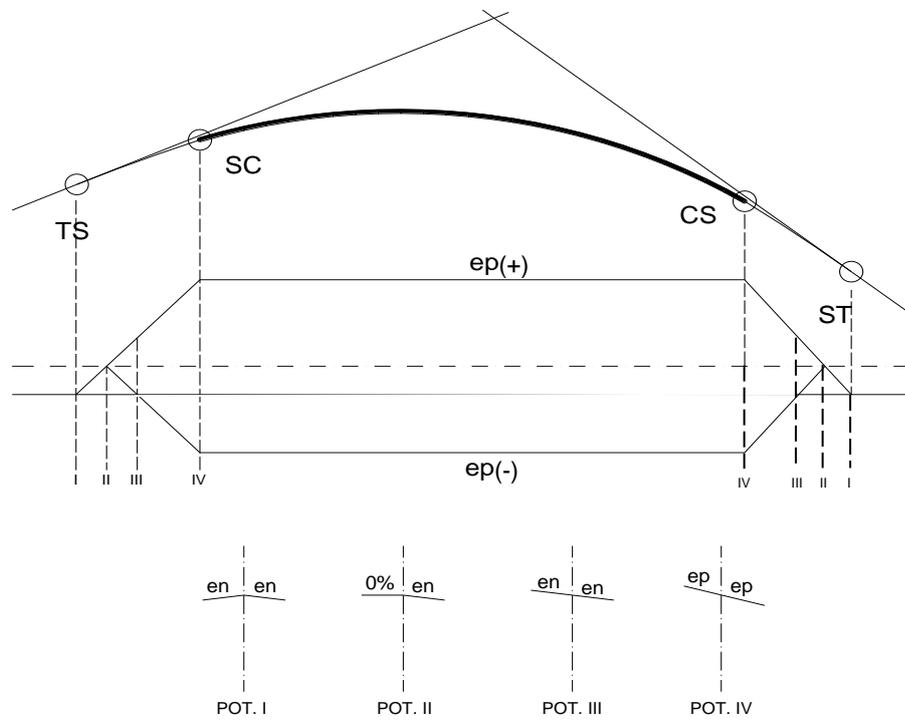
Diagram superelevasi:

a. Tikungan *Full Circle (FC)*



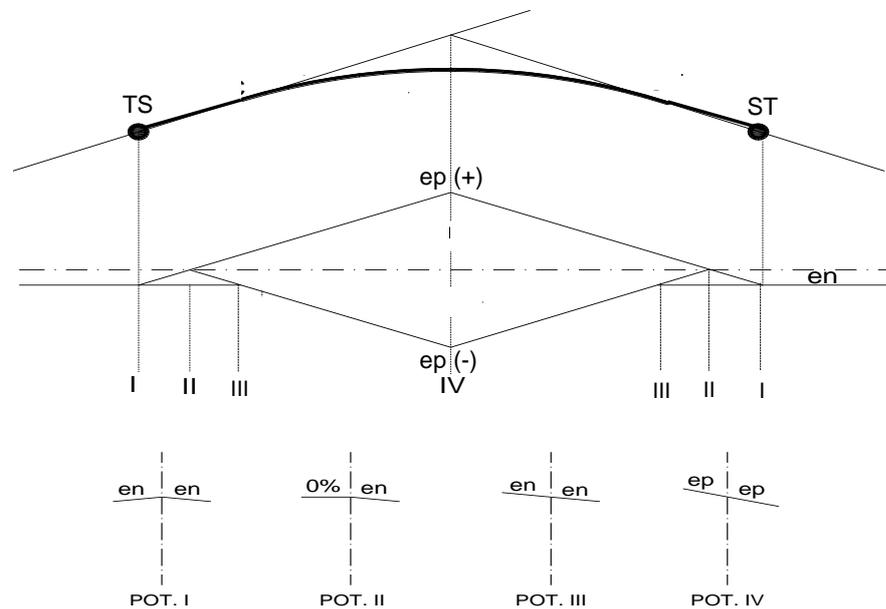
Gambar 2.15 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Full Circle*

b. Tikungan *Spiral Circle Spiral (SCS)*



Gambar 2.16 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

c. Tikungan *Spiral - Spiral* (SS)



Gambar 2.17 Pencapaian Superelevasi Tikungan *Spiral - Spiral*

2.7.5 Pelebaran Perkerasan Jalan pada Tikungan

Pelebaran perkerasan pada tikungan direncanakan untuk menghindari kendaraan yang bergerak dari jalan lurus menuju ke tikungan tidak mengalami *off tracking* (keluar jalur) tepatnya lintasan roda belakang pada saat membelok.

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan konsistensi geometrik jalan agar kondisi operasional lalu lintas di tikungan sama dengan dibagian lurus. Pada jalan dua lajur sebaiknya terdapat pelebaran jalan, terutama pada tikungan tajam karena hal-hal sebagai berikut:

- Kecenderungan pengemudi terlempar keluar dari tepi perkerasan.
- Meningkatkan lebar efektif kendaraan karena ban depan dan belakang tidak melintasi satu garis.
- Pertambahan lebar karena posisi kendaraan yang miring terhadap as jalan.

Pelebaran jalan ditikungan menurut Bina Marga mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Kesulitan pengemudi untuk menempatkan kendaraan tetap pada lajurnya.
- Penambahan lebar (ruang) lajur yang dipakai saat kendaraan melakukan gerakan melingkar. Dalam segala hal pelebaran di tikungan harus memenuhi

gerak berputar kendaraan rencana sedemikian sehingga proyeksi kendaraan tetap pada lajunya.

- c. Pelebaran di tikungan ditentukan oleh radius belok kendaraan rencana.

Adapun rumus-rumus yang berlaku untuk menghitung pelebaran pada tikungan adalah sebagai berikut:

$$B = \sqrt{(\sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25)^2 + 64} - \sqrt{Rc^2 - 64} + 1,25 \dots\dots\dots (2.40)$$

Di mana:

B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam (m)

Rc = Radius lengkung untuk lintasan luar roda depan (m)

Di mana nilai radius lengkung untuk lintasan luar roda depan (Rc) dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$Rc = R - \frac{1}{2}Bn + \frac{1}{2}b \dots\dots\dots (2.41)$$

Di mana :

R = Jari-jari busur lingkaran pada tikungan (m)

Bn = Lebar total perkerasan pada bagian lurus (m)

b = Lebar kendaraan rencana (m)

$$Bt = n (B + C) + Z \dots\dots\dots (2.42)$$

$$Z = 0,015 \frac{V}{\sqrt{R}} \dots\dots\dots (2.43)$$

Di mana :

n = Jumlah jalur lalu lintas

B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam (m)

C = Lebar kebebasan samping di kiri dan kanan jalan (m)
 0,5 m untuk lebar lajur 6 m; 1 m untuk lebar lajur 7 m; 1,25 m untuk lebar lajur 7,5 m

Z = Lebar tambahan akibat kesuk aran mengemudi di tikungan (m)

Adapun rumus untuk menghitung tambahan lebar perkerasan di tikungan sebagai berikut :

$$\Delta b = B_t - B_n \dots\dots\dots (2.44)$$

Di mana:

Δb = Tambahan lebar perkerasan di tikungan (m)

B_n = Lebar total perkerasan pada bagian lurus (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Jari-jari tikungan

2.7.6 Kebebasan Samping pada Tikungan

Sesuai dengan panjang jarak pandangan yang dibutuhkan baik jarak pandangan henti maupun jarak pandangan menyiap, maka pada tikungan perlu diadakan jarak kebebasan samping. Jarak kebebasan samping ini merupakan jarak yang diukur dari suatu as jalan ke suatu penghalang pandangan, misalnya bangunan, kaki bukit, pohon dan hutan.

Apabila kondisi medan mengijinkan, maka penerapan kebebasan samping sangat membantu meningkatkan keamanan dan kenyamanan kendaraan yang melintasi tikungan tersebut. Akan tetapi apabila kondisi medan sudah tidak mengijinkan, kebebasan samping boleh ditiadakan dengan syarat diganti dengan pemasangan rambu-rambu peringatan sehubungan dengan kecepatan yang diijinkan.

Daerah bebas samping di tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga J_h dipenuhi. Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan objek-objek penghalang sejauh E (m), yang diukur dari garis tengah lajur dalam sampai ke objek penghalang pandangan sehingga memenuhi persyaratan J_h .

Daerah bebas samping di tikungan dihitung berdasarkan rumus-rumus sebagai berikut:

a. Jika $J_h < L_t$

$$E = R \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R} \right) \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana:

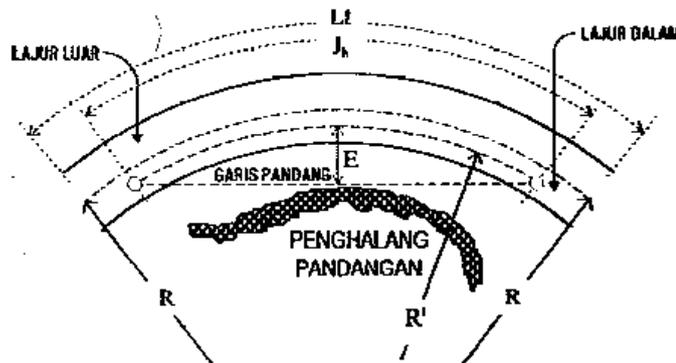
E = Jarak bebas samping (m)

R = Jari-jari tikungan (m)

R' = Jari-jari tikungan (m)

Jh = Jarak pandang henti (m)

Lt = Panjang tikungan (m)



Gambar 2.18 Daerah Bebas Samping Di Tikungan, untuk $J_h < L_t$

b. Jika $J_h > L_t$

$$E = R' \left(1 - \cos \frac{28,65 J_h}{R'} \right) + \left(\frac{J_h - L_t}{2} \sin \frac{28,65 J_h}{R'} \right) \dots \dots \dots (2.46)$$

Di mana :

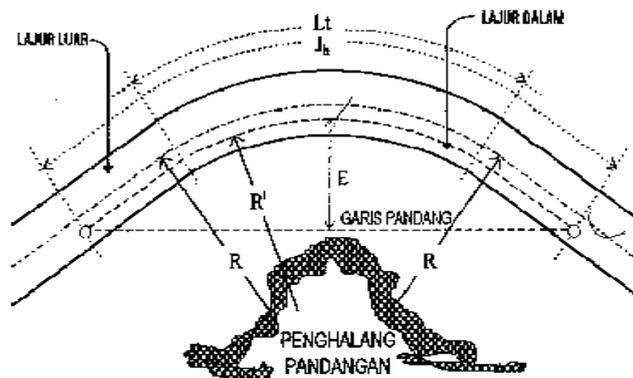
E = Jarak bebas samping (m)

R = Jari-jari tikungan (m)

R' = Jari-jari tikungan (m)

Jh = Jarak pandang henti (m)

Lt = Panjang tikungan (m)



Gambar 2.19 Daerah Bebas Samping Di Tikungan, untuk $J_h > L_t$

2.7.7 Penomoran Panjang Jalan (*Stationing*)

Penomoran (*stationing*) panjang jalan pada tahap perencanaan adalah memberikan nomor pada interval-interval tertentu dari awal pekerjaan. Nomor jalan (STA jalan) dibutuhkan sebagai sarana komunikasi untuk dengan cepat mengenali lokasi yang sedang dibicarakan, selanjutnya menjadi panduan untuk lokasi suatu tempat. Nomor jalan ini sangat bermanfaat pada saat pelaksanaan dan perencanaan. Di samping itu dari penomoran jalan tersebut dapat diperoleh informasi tentang panjang jalan secara keseluruhan. Setiap STA jalan dilengkapi dengan gambar potongan melintangnya (Silvia Sukirman, 1994:181).

Nomor jalan (STA jalan) ini sama fungsinya dengan patok-patok km di sepanjang jalan, namun juga terdapat perbedaannya antara lain:

- a. Patok km merupakan petunjuk jarak yang diukur dari patok km 0, yang umumnya terletak di Ibukota Provinsi atau Kotamadya, sedangkan patok STA merupakan petunjuk jarak yang diukur dari awal sampai akhir pekerjaan.
- b. Patok km berupa patok permanen yang dipasang dengan ukuran standar yang berlaku, sedangkan patok STA merupakan patok sementara selama masa pelaksanaan proyek jalan tersebut.

2.8 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan, yang umumnya biasa disebut dengan profil/penampang memanjang jalan untuk jalan 2 lajur 2 arah atau melalui tepi masing-masing perkerasan untuk jalan dengan median.

Perencanaan alinyemen vertikal dipengaruhi oleh besarnya biaya pembangunan yang tersedia. Alinyemen vertikal yang mengikuti muka tanah asli akan mengurangi pekerjaan tanah, tetapi mungkin saja akan mengakibatkan jalan itu terlalu banyak mempunyai tikungan. Tentu saja hal ini belum tentu sesuai dengan persyaratan yang diberikan sehubungan dengan fungsi jalannya.

Muka jalan sebaiknya diletakkan sedikit diatas muka tanah asli sehigga memudahkan dalam pembuatan drainase jalannya, terutama di daerah yang datar. Pada daerah yang seringkali di landa banjir sebaiknya penampang memanjang jalan

diletakkan diatas elevasi muka banjir. Di daerah perbukitan atau pergunungan di usahakan banyaknya pekerjaan galian seimbang dengan pekerjaan timbunan, sehingga secara keseluruhan biaya yang dibutuhkan tetap dapat dipertanggung jawabkan.

Perlu pula diperhatikan bahwa alinyemen vertikal yang direncanakan itu akan berlaku untuk masa panjang, sehingga sebaiknya alinyemen vertikal yang dipilih tersebut dapat dengan mudah mengikuti perkembangan lingkungan.

Alinyemen vertikal disebut juga penampang memanjang jalan yang terdiri dari garis-garis lurus dan garis-garis lengkung. Garis lurus tersebut dapat datar, mendaki, menurun dan biasa disebut landai dengan dinyatakan persen. Pada perencanaan alinyemen vertikal akan ditemui kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan) sehingga kombinasinya berupa lengkung cembung dan lengkung cekung, disamping kedua lengkung tersebut ditemui juga kelandaian = 0 (datar).

2.8.1 Kelandaian

a. Kelandaian Minimum

Untuk tanah timbunan yang tidak menggunakan kerb, maka lereng melintang jalan dianggap sudah cukup untuk dapat mengalirkan air di atas badan jalan yang selanjutnya dibuang ke lereng jalan.

Untuk jalan-jalan di atas tanah timbunan dengan medan datar dan menggunakan kerb, kelandaian yang dianjurkan adalah sebesar 0,15%, yang dapat membantu mengalirkan air dari atas badan jalan dan membuangnya ke saluran tepi atau saluran pembuangan.

Sedangkan untuk jalan-jalan di daerah galian atau jalan yang memakai kerb, kelandaian jalan minimum yang dianjurkan adalah 0,30 – 0,50%. Lereng melintang jalan hanya cukup untuk mengalirkan air hujan yang jatuh di atas badan jalan, sedangkan landai jalan dibutuhkan untuk membuat kemiringan dasar saluran samping, untuk membuang air permukaan sepanjang jalan.

b. Kelandaian Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah. Kelandaian maksimum untuk berbagai V_R dapat dilihat dalam Tabel 2.24 berikut:

Tabel 2.24 Kelandaian Maksimum yang Diizinkan

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

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

c. Panjang Kritis Suatu Kelandaian

Panjang kritis adalah panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian rupa sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan rencana (V_R). Lama perjalanan pada panjang kritis tidak lebih dari 1 menit.

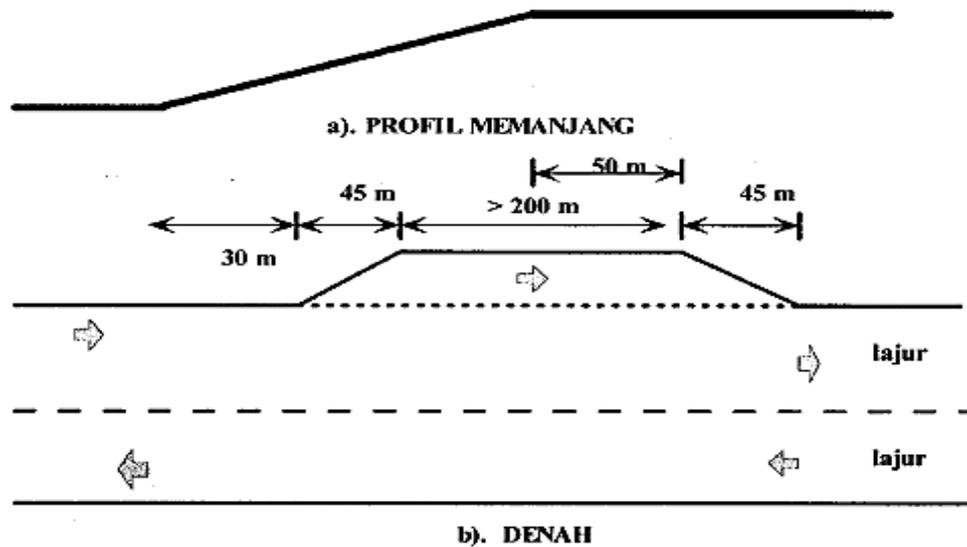
Tabel 2.25 Panjang Kritis (m)

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: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

d. Lajur Pendakian

Pada jalur jalan dengan rencana volume lalu lintas yang tinggi, maka kendaraan berat akan berjalan pada lajur pendakian dengan kecepatan di bawah kecepatan rencana (V_R), sedangkan kendaraan lainnya masih dapat bergerak dengan kecepatan rencana. Dalam hal ini sebaiknya dipertimbangkan untuk membuat lajur tambahan disebelah kiri lajur jalan.



Gambar 2.20 Lajur Pendakian Tipikal

2.8.2 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal adalah garis yang menghubungkan antara dua kelandaian arah memanjang jalan agar tidak terjadi patahan, yang bertujuan untuk memenuhi keamanan, kenyamanan bagi pengguna jalan serta penyediaan drainase yang baik.

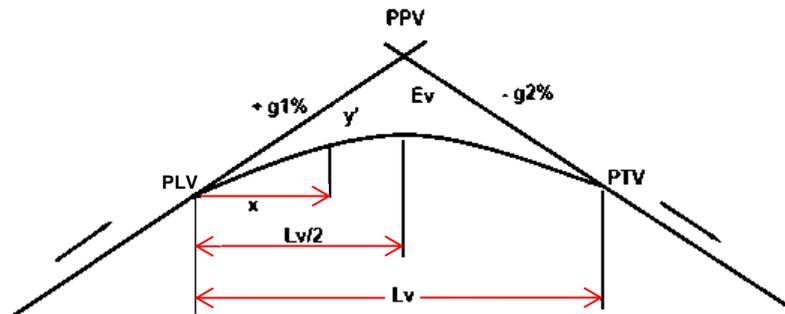
Bentuk lengkung vertikal adalah parabola dengan asumsi sederhana sehingga elevasi panjang lengkung dapat diperkirakan panjangnya, panjang minimum lengkung vertikal bisa ditentukan langsung sesuai dengan Tabel 2.26:

Tabel 2.26 Panjang Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Perbedaan Kelandaian Memanjang (%)	Panjang Lengkung (m)
< 40	1	20 - 30
40 - 60	0,6	40 - 80
> 60	0,4	80 - 150

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Kelandaian menaik diberi tanda (+) dan kelandaian menurun diberi tanda (-) ketentuan pendakian atau penurunan ditinjau dari kiri ke kanan. Gambar lengkung vertikal dapat dilihat pada gambar 2.21 di samping ini:



Gambar 2.21 Lengkung Vertikal

Adapun rumus yang dipergunakan untuk lengkung vertikal adalah sebagai berikut:

$$A = g1 \pm g2 \dots\dots\dots (2.47)$$

$$y' = \left[\frac{g2 - g1}{200 Lv} \right] \cdot x^2 \dots\dots\dots (2.48)$$

Untuk $x = \frac{1}{2} Lv$, maka $y' = Ev$ yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Ev = \frac{(g2 - g1)Lv}{800} \dots\dots\dots (2.49)$$

Dimana:

x = Jarak horizontal dari titik PLV ke titik yang ditinjau (m)

y' = Besarnya penyimpangan (jarak vertikal) antara garis kemiringan dengan lengkungan (m)

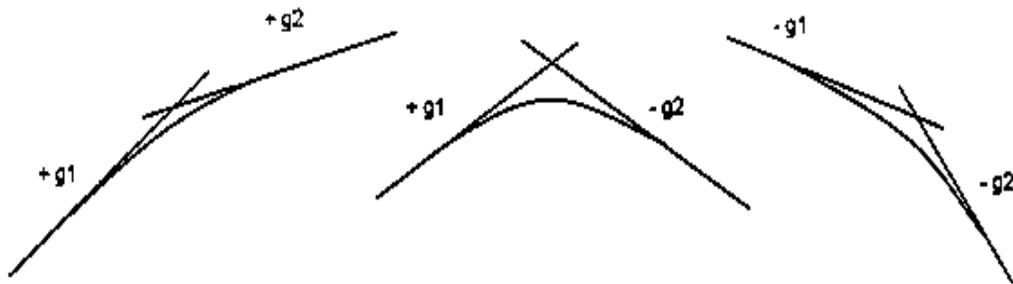
$g1, g2$ = Besar kelandaian (kenaikan/penurunan), (%)

Lv = Panjang lengkung vertikal (m)

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

a. Lengkung Vertikal Cembung

Lengkung vertikal cembung adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua *tangen* berada di atas permukaan jalan yang bersangkutan. Gambar lengkung vertikal cembung dapat dilihat pada gambar 2.22 di samping ini:

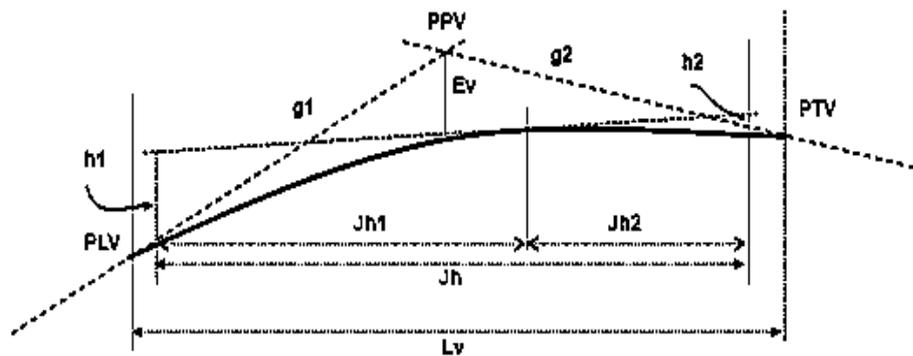


Gambar 2.22 Alinyemen Vertikal Cembung

Panjang lengkung vertikal cembung (L_v), dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

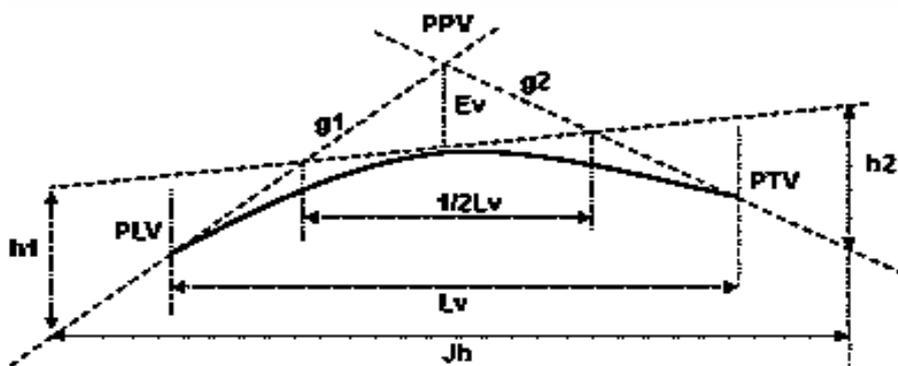
a) Panjang L_v berdasarkan J_h (dalam meter)

$$J_h < L_v, \text{ maka } L_v = \frac{A \cdot J_h^2}{399} \dots\dots\dots (2.50)$$



Gambar 2.23 Panjang L_v untuk $J_h < L_v$

$$J_h > L_v, \text{ maka } L_v = 2 J_h - \frac{399}{A} \dots\dots\dots (2.51)$$



Gambar 2.24 Panjang L_v untuk $J_h > L_v$

b) Panjang L_v berdasarkan J_d (dalam meter)

$$J_d < L_v, \text{ maka } L_v = \frac{A \cdot J_d^2}{840} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$J_d > L_v, \text{ maka } L_v = 2 J_d - \frac{840}{A} \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana:

J_h = Jarak pandang henti (m)

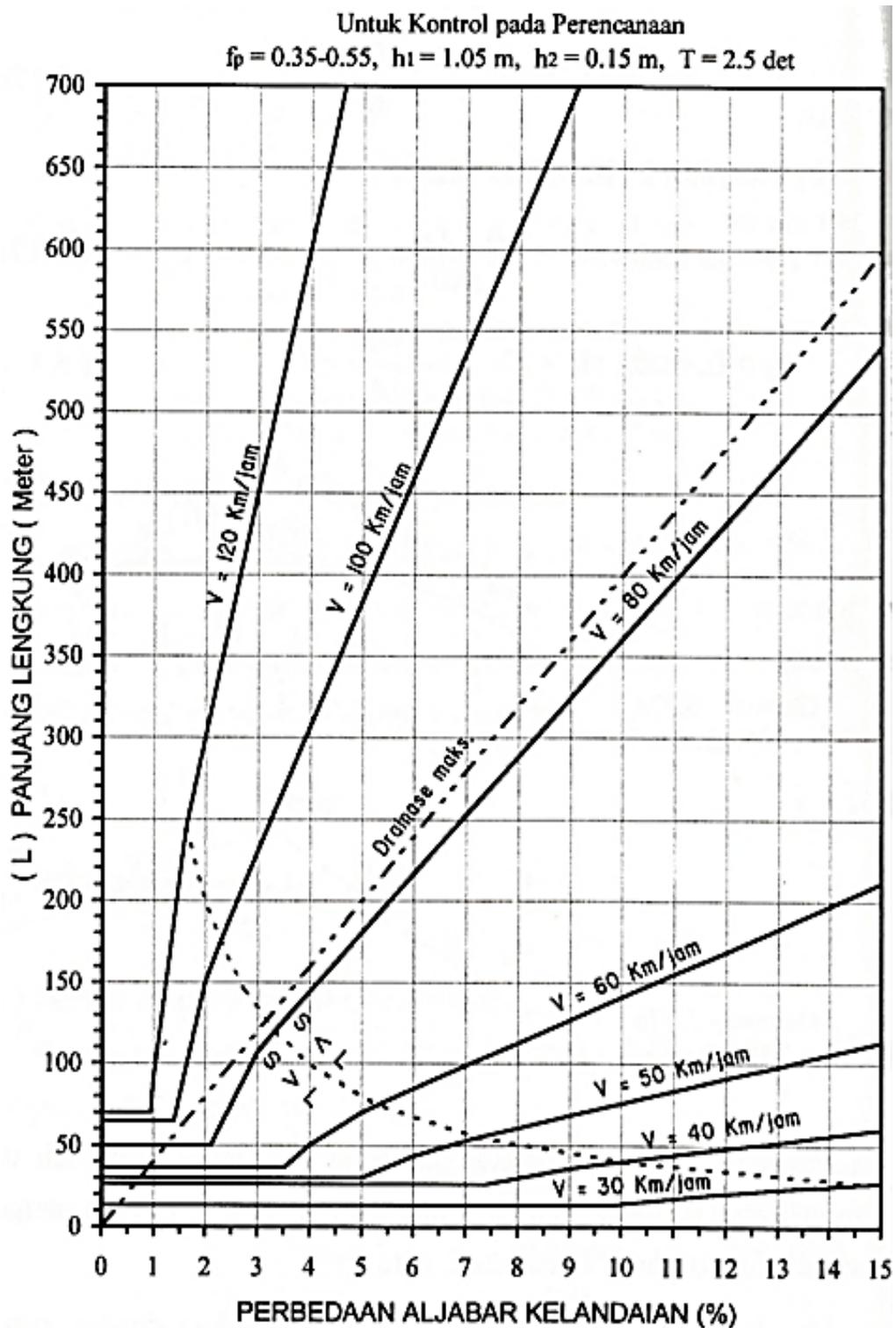
J_d = Jarak pandang mendahului/menyiap (m)

g_1, g_2 = Kemiringan/*tangen* (%)

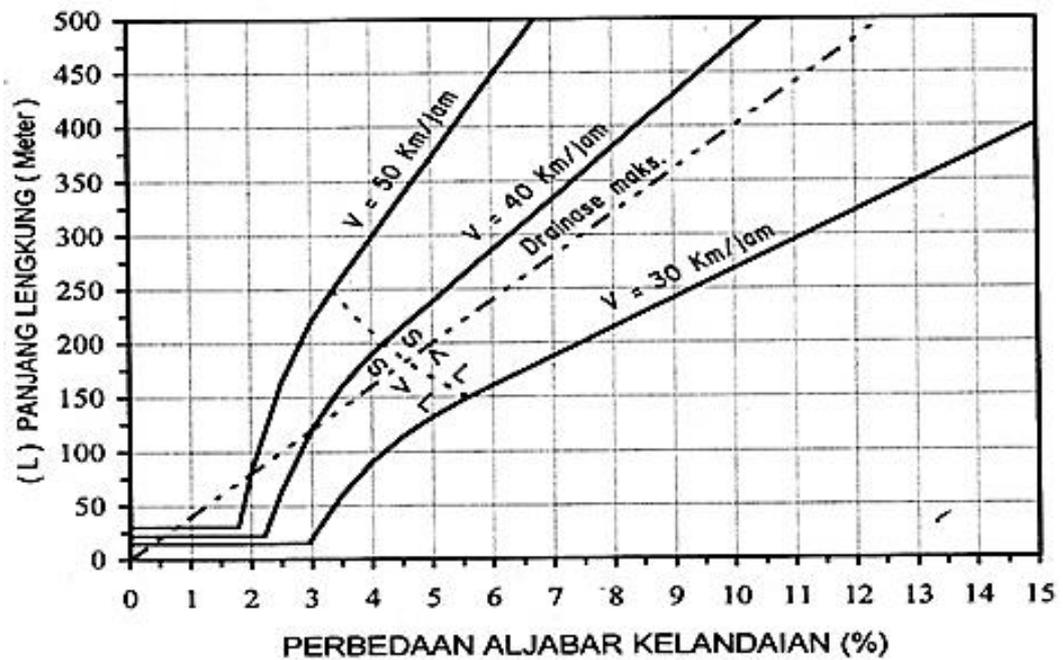
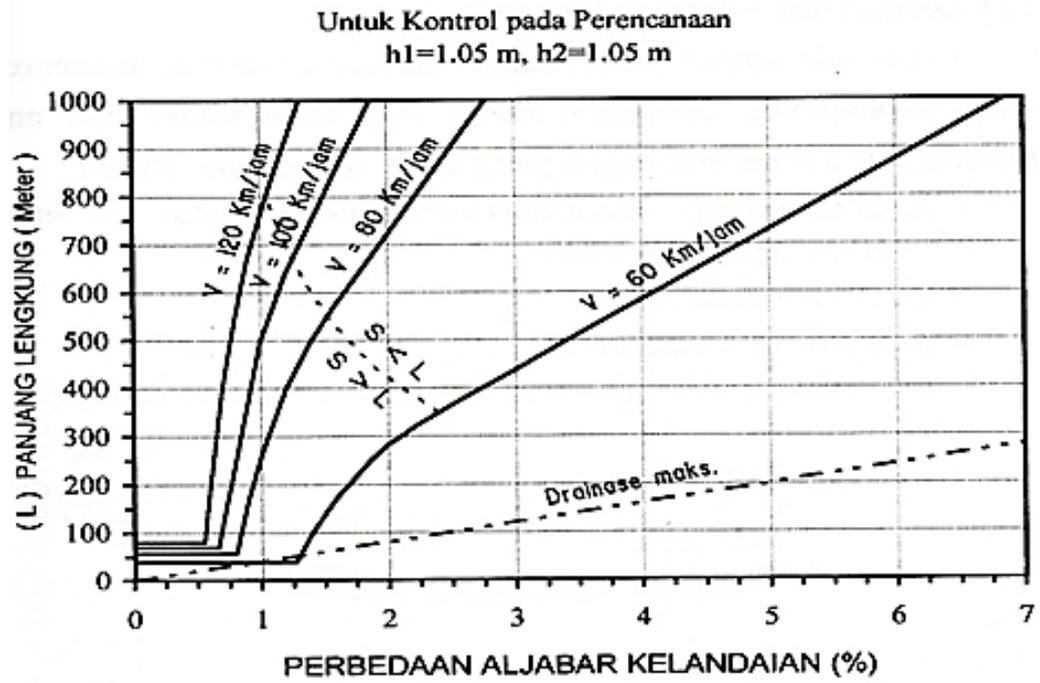
L_v = Panjang lengkungan (m)

A = Perbedaan aljabar untuk kelandaian (%), dimana $A = g_1 \pm g_2$

Untuk menentukan panjang lengkung vertikal cembung (L_v) dapat juga ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 2.25 (untuk jarak pandang henti) dan grafik pada Gambar 2.26 (untuk jarak pandang menyiap) di bawah ini:



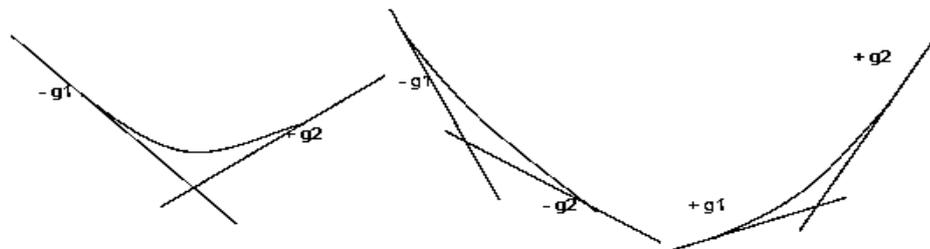
Gambar 2.25 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cembung Berdasarkan Jarak Pandang Henti (Jh)



Gambar 2.26 Jarak Pandang Mendahului (Jd)

b. Lengkung Vertikal Cekung

Lengkung vertikal cekung adalah lengkung diman titik perpotongan antaran kedua *tangen* berada di bawah permukaan jalan. Gambar lengkung vertikal cekung dapat dilihat pada gambar 2.27 di bawah ini:



Gambar 2.27 Alinyemen Vertikal Cekung

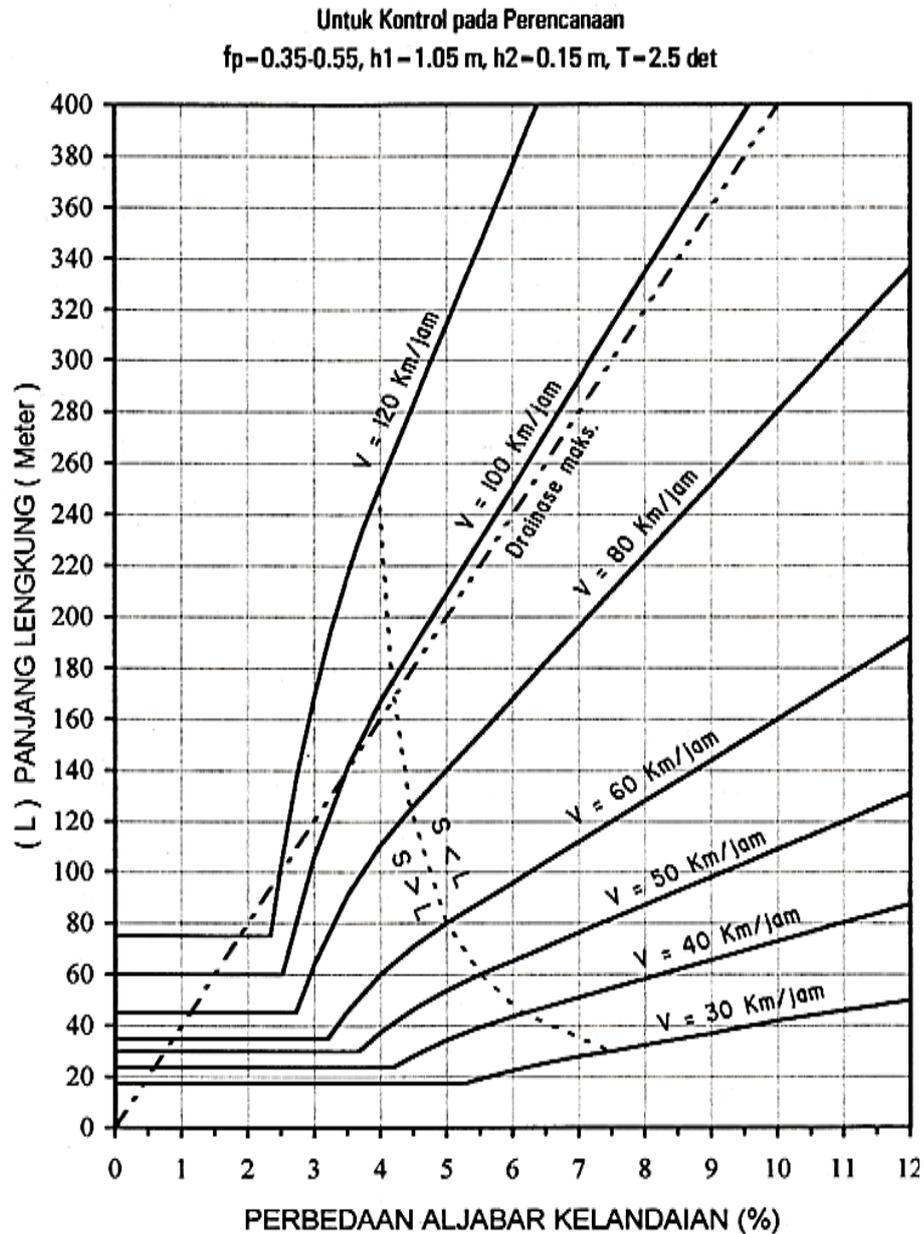
Dalam menentukan panjang lengkung vertikal cekung, harus memperhatikan antara lain:

- Jarak penyinaran lampu kendaraan.
- Jarak pandangan bebas di bawah bangunan.
- Persyaratan drainase.
- Kenyamanan pengemudi.
- Keluwesan bentuk.

Panjang lengkung vertikal cekung ditentukan berdasarkan jarak pandang pada waktu malam hari dan syarat drainase sebagaimana tercantum dalam grafik pada Gambar 2.28. Rumus-rumus yang berlaku pada lengkung vertikal cekung adalah sebagai berikut:

$$\text{a) } J_h < L_v, \text{ maka } L_v = \frac{A \cdot J_h^2}{120 + 3,5 J_h} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$\text{b) } J_h > L_v, \text{ maka } L_v = 2 J_h - \frac{120 + 3,5 J_h}{A} \dots\dots\dots (2.55)$$



Gambar 2.28 Grafik Panjang Lengkung Vertikal Cekung

2.9 Koordinasi Alinyemen

Menurut Shirley L.Hendarsin (2000:124-125), koordinasi alinyemen pada perencanaan teknik jalan, diperlukan untuk menjamin suatu perencanaan teknik jalan raya yang baik dan menghasilkan keamanan serta rasa nyaman bagi pengemudi kendaraan (selaku pengguna jalan) yang melalui jalan tersebut. Maksud koordinasi dalam hal ini, yaitu penggabungan beberapa elemen dalam perencanaan

geometrik jalan yang terdiri dari perencanaan alinyemen horizontal, alinyemen vertikal dan potongan memanjang dalam suatu paduan sehingga menghasilkan produk perencanaan teknik sedemikian yang memenuhi unsur aman, nyaman dan ekonomis. Beberapa ketentuan atau syarat sebagai panduan yang dapat digunakan untuk proses koordinasi alinyemen, yaitu:

- a. Alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal terletak pada satu fase, dimana alinyemen horizontal sedikit lebih panjang dari alinyemen vertikal.
- b. Tikungan tajam yang terletak di atas lengkung vertikal cembung atau di bawah lengkung vertikal cekung harus dihindarkan, karena hal ini akan menghalangi pandangan mata pengemudi pada saat memasuki tikungan pertama dan juga jalan terkesan putus.
- c. Pada kelandaian jalan yang lurus dan panjang, sebaiknya tidak dibuat lengkung vertikal cekung, karena pandangan pengemudi akan terhalang oleh puncak alinyemen vertikal sehingga sulit untuk memperkirakan alinyemen dibalik puncak tersebut.
- d. Lengkung vertikal dua atau lebih pada satu lengkung horizontal, sebaiknya dihindarkan.
- e. Tikungan tajam yang terletak diantara bagian jalan yang lurus dan panjang harus dihindarkan.

2.10 Perencanaan Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap jalan merupakan bagian dari jalan yang dibangun untuk memenuhi persyaratan kelancaran lalu lintas dan menghindari kerusakan yang mungkin terjadi pada permukaan jalan yang nantinya akan berdampak pada kenyamanan pemakai jalan. Menurut Shirley L. Hendarsain (2000: 309) bangunan pelengkap jalan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Bangunan Drainase Jalan
- b. Bangunan Penguat Tebing
- c. Bangunan Pengaman Lalu Lintas, Rambu dan Marka Jalan.

2.10.1 Drainase Jalan

Pada pembangunan dan pemeliharaan jalan, drainase sangat penting diperhatikan karena kondisi drainase yang buruk juga merupakan penyebab utama kerusakan perkerasan. Drainase jalan yang baik harus mampu menghindari masalah-masalah atau kerusakan jalan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca dan beban lalu lintas.

Air masuk ke struktur perkerasan jalan melalui banyak cara antara lain retak pada permukaan jalan, air tanah tinggi pada musim hujan atau infiltrasi dan kapilerisasi air pada daerah sekitar perkerasan.

Drainase digunakan sebagai bangunan pelengkapan jalan untuk mengalirkan air pada permukaan jalan secepat mungkin agar jalan tidak tergenang air dalam waktu yang cukup lama yang akan mengakibatkan kerusakan konstruksi jalan.

Ada dua jenis drainase yaitu drainase permukaan dan drainase bawah permukaan. Drainase permukaan berfungsi untuk membuang air dari permukaan perkerasan ke saluran pembuang. Saluran drainase permukaan terdiri dari tiga jenis, yaitu saluran (saluran penangkap; saluran samping), gorong-gorong (*culvert*) dan saluran alam (sungai) yang memotong jalan.

Agar saluran air hujan dapat ditampung dan dialirkan ketempat pembuangan (sungai dll) maka kapasitas sarana drainase jalan (kecuali saluran alam) ukuran/dimensinya harus direncanakan terlebih dahulu berdasarkan besarnya kapasitas yang diperlukan (Q_s) yaitu dapat menampung besarnya debit aliran rencana (Q_r).

Untuk menghitung besarnya hujan rencana, dapat digunakan berbagai cara tergantung data hujan (dari hasil pengamatan) yang tersedia, karena tidak semua post pencatat hujan model otomatis dan pengamatan yang dilakukan juga tidak selalu kontinyu (berbagai pertimbangan dari segi SDM, keamanan, kondisi lokasi, teknisi dan suku cadang).

Metode untuk menentukan Q_r akibat hujan yang banyak digunakan dan disarankan oleh JICA, AASHTO maupun SNI yaitu metode rasional yang

merupakan rumus empiris dari hubungan antara curah hujan dan besarnya limpasan (debit).

$$Q = \frac{C \cdot It \cdot A}{3,6} \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana:

Q = Debit Limpasan (m³/det)

C = Koefisien Limpasan atau pengaliran

It = Intensitas Hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan hujan (km²)

2.10.2 Saluran Samping

Tahaan untuk menentukan kapasitas saluran samping jika menggunakan metode rasional.

a. Menentukan Frekuensi Hujan Rencana Pada Masa Ulang (T) Tahun

Di bawah ini diberikan contoh perhitungan sekaligus dengan uraian dan rumus dengan Analisa Distribusi Frekuensi Cara Gumbel. Rumus persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots (2.57)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x^2) - x \sum x}{n-1}} \dots\dots\dots (2.58)$$

$$R_T = X + S_x \dots\dots\dots (2.59)$$

Dimana:

X = Curah Hujan Harian maksimum pertahun (mm)

N = Jumlah data curah hujan

\bar{X} = Curah Hujan Harian rata-rata (mm)

S_x = Standar Deviasi

R_T = Frekuensi Hujan Pada Perioda ulang T

K = Faktor Frekuensi

Tabel 2.27 Nilai K Sesuai Lama Pengamatan

T	Y _T	Lama Pengamatan (Tahun)				
		10	15	20	25	30
2	0,3665	-0,1355	-0,1434	-0,1478	-0,1506	-0,1526
5	1,4999	1,0580	0,9672	0,9186	0,8878	0,8663
10	2,2502	1,8482	1,7023	1,6246	1,5752	1,5408
20	2,9702	2,6064	2,4078	2,3020	2,2348	2,1881
25	3,1985	2,8468	2,6315	2,5168	2,4440	2,3933
50	3,9019	3,5875	3,3207	3,1787	3,1787	3,0256
100	4,6001	4,3228	4,0048	3,8356	3,8356	3,6533

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

b. Menentukan Intensitas Hujan Rencana

Untuk mengolah R (Frekuensi Hujan) menjadi I (Intensitas Hujan) dapat digunakan cara Mononobe sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.60)$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan (menit)

R₂₄ = Curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm)

Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistic maupun secara empiris. Biasanya intensitas hujan dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek misalnya 5 menit, 30 menit, 60 menit dan jam.

c. Luas Daerah Pengaliran (A)

Luas daerah tangkapan hujan (*catchment area*) pada perencanaan seluran samping jalan adalah daerah pengaliran yang menerima curah hujan selama waktu tertentu (intensitas hujan) sehingga menimbulkan debit limpasan yang harus dialirkan perhitungan luas daerah pengaliran didasarkan pada panjang segmen jalan yang ditinjau.

d. Koefisien Pengaliran dan Faktor Limpasan

Koefisien pengaliran (C) dan koefisien limpasan (fk) adalah angka reduksi dari intensitas hujan, yang besarnya disesuaikan dengan kondisi permukaan

kemiringan atau kelandaian, jenis tanah dan durasi hujan, koefisien ini tidak berdimensi. Berdasarkan Pd. T-02-2006-B tentang Perencanaan Drainase Jalan nilai C dengan berbagai kondisi permukaan, dapat dihitung atau ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$C_w = \frac{C1.A1+C2.A2+C3.A3.fk}{A1+A2+A3+.....} \dots\dots\dots (2.61)$$

Dimana:

C1,C2 = Koefisien pengaliran sesuai dengan jenis permukaan

A1,A2 = Luas daerah pengaliran (Km²)

Cw = C rata-rata pada daerah pengaliran yang dihitung

Fk = Faktor limpasan sesuai guna jalan

Harga koefisien pengaliran (C) atau koefisien limpasan (fk) dapat dilihat pada Tabel 2.28 berikut ini:

Tabel 2.28 Harga Koefisien Pengaliran (C) dan Harga Faktor Limpasan (fk)

No.	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
BAHAN			
1	Jalan beton & jalan aspal	0,70-0,90	-
2	Jalan kerikil & jalan tanah	0,40-0,70	-
3	Bahu jalan:		
	Tanah berbutir halus	0,40-0,65	-
	Tanah berbutir kasar	0,10-0,20	-
	Batuan masif keras	0,70-0,85	-
	Batu masif lunak	0,60-0,75	-
TATA GUNA LAHAN			
1	Daerah perkotaan	0,70-0,95	2,0
2	Daerah pinggiran kota	0,60-0,70	1,5
3	Daerah industry	0,60-0,90	1,2
4	Pemukiman padat	0,40-0,60	2,0
5	Pemukiman tidak padat	0,40-0,60	1,5
6	Taman dan kebun	0,20-0,40	0,2
7	Persawitan	0,45-0,60	0,5
8	Perbukitan	0,70-0,80	0,4
9	Pegunungan	0,75-0,95	0,3

(Sumber :Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

e. Waktu Konsentrasi (T_c) adalah waktu terpanjang yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan aliran air secara simultan (*runoff*) setelah melewati titik-titik tertentu.

Terdiri dari (t_1) waktu untuk mencapai saluran dari titik terjauh dan (t_2) waktu pengaliran. Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan rumus

$$T_c = t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2.62)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times I_o \times \frac{nd}{\sqrt{k}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots (2.63)$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times v} \dots\dots\dots (2.64)$$

Dimana:

T_c = Waktu konsentrasi (menit)

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

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

I_o = Jarak dari titik terjauh sampai sarana drainase (m)

L = Panjang saluran (m)

K = Kelandaian permukaan

n_d = Koefisien hambatan (lihat Tabel 2.29)

I_s = Kemiringan saluran memanjang

V = Kecepatan air rata-rata pada saluran drainase

f. Debit Banjir

Untuk menghiung debit aliran (Q) dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C_w \times I \times A \dots\dots\dots (2.65)$$

Dimana:

Q = Debit aliran ($m^3/detik$)

C_w = Koefisien pengaliran rata-rata

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = Luas daerah layanan (km^2)

Tabel 2.29 Koefisien Hambatan Berdasarkan Kondisi Permukaan

No.	Kondisi Permukaan yang Dilalui Aliran	n_d
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan halus dan kedap air	0,02
3	Permukaan halus dan padat	0,10
4	Lapangan dengan rumput jarang, lading, dan tanah lapang kosong dengan permukaan cukup kasar	0,20
5	Lading dan lapangan rumput	0,40
6	Hutan	0,60
7	Hutan dan rimba	0,80

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

2.10.3 Gorong-gorong (*Culvert*)

Pada drainase jalan, gorong-gorong berfungsi sebagai penerus aliran dari saluran samping ke tempat pembuangan, gorong-gorong ditempatkan melintang jalan di beberapa lokasi sesuai kebutuhan.

Tipe dan bahan gorong-gorong yang permanen dapat dilihat pada Tabel 2.30 dengan desain umur rencana untuk periode ulang untuk perencanaan gorong-gorong disesuaikan dengan fungsi jalan tempat gorong-gorong berlokasi:

- Jalan Tol = 25 tahun
- Jalan Arteri = 10 tahun
- Jalan Kolektor = 7 tahun
- Jalan Lokal = 5 tahun

Perhitungan gorong-gorong mengambil asumsi sebagai saluran terbuka dan dimensi gorong-gorong harus memperkirakan debit yang masuk gorong-gorong tersebut. Dimensi gorong-gorong minimum dengan diameter 80 cm dengan kedalaman minimum 1 m – 1,5 m tergantung tipe.

Tabel 2.30 Tipe Penampang Gorong-gorong

No.	Tipe Gorong-gorong	Bahan yang pakai
1	Pipa tunggal atau lebih	Metal gelombang, beton bertulang atau beton tumbuk, besi cor dan lain-lain
2	Pipa lengkung tunggal atau lebih	Metal gelombang
3	Gorong-gorong persegi (<i>Boxculvert</i>)	Beton bertulang

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Berdasarkan standar gorong-gorong persegi *single* beton bertulang dari Bina Marga panjang gorong-gorong persegi merupakan lebar jalan ditambah dua kali lebar bahu jalan dan dua kali tebal dinding sayap. Konstruksi gorong-gorong persegi beton bertulang ini direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan sehingga pada prinsipnya panjang gorong-gorong persegi adalah bebas, tetapi pada perhitungan volume dan berat besi tulangan diambil terbatas dengan lebar perkerasan yang umum, yaitu 3,5; 4,5; 6 dan 7 meter.

Dimensi gorong-gorong persegi beton bertulang direncanakan seperti pada Tabel 2.31 berikut ini:

Tabel 2.31 Ukuran Dimensi Gorong-gorong

Tipe Single		
I	t	h
100	100	16
100	150	17
100	200	18
200	100	22
200	150	23
200	200	25
200	250	26
200	300	28
300	150	28
300	200	30
300	250	30
300	300	30

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 1997)

2.10.4 Kriteria Perencanaan Saluran Samping dan Gorong-gorong

Pada perencanaan saluran terbuka secara hidrolika, jenis aliran yang terjadi adalah aliran terbuka, yaitu pengaliran air dengan permukaan bebas. Perencanaan ini digunakan untuk perencanaan saluran samping jalan maupun gorong-gorong. Bahan bangunan saluran ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang mengalir di saluran samping jalan tersebut. Sedangkan besarnya kemiringan saluran memanjang ditentukan berdasarkan bahan yang digunakan.

Tabel 2.32 Kemiringan Saluran Memanjang Berdasarkan Jenis Material

No.	Jenis Material	Kemiringan Saluran (%)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5 - 7,5
3	Pasangan	> 7,5

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

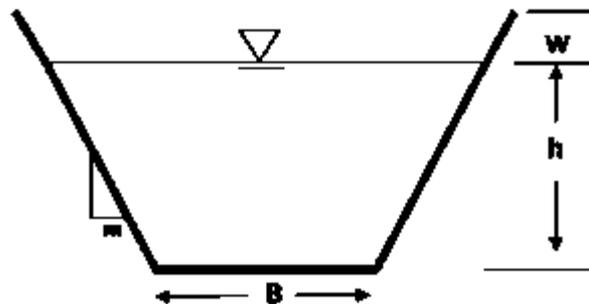
Tabel 2.33 Kecepatan Aliran Air yang Diijinkan Berdasarkan Jenis Material

No.	Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Air yang Diijinkan (m/detik)
1	Pasir Halus	0,45
2	Lempung Kepasiran	0,50
3	Lanau Aluvial	0,60
4	Kerikil Halus	0,75
5	Lempung Kokoh	0,75
6	Lempung Padat	1,10
7	Kerikil Kasar	1,20
8	Batu-batu Besar	1,50
9	Pasangan Batu	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton Bertulang	1,50

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

2.10.5 Desain Dimensi Saluran Samping dan Gorong-gorong

a. Dimensi Saluran Samping



Gambar 2.29 Penampang Saluran Berbentuk Trapesium

Perhitungan dimensi saluran dilakukan dengan menggunakan rumus Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.66)$$

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2.67)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.68)$$

$$w = \sqrt{0,5h} \dots\dots\dots (2.69)$$

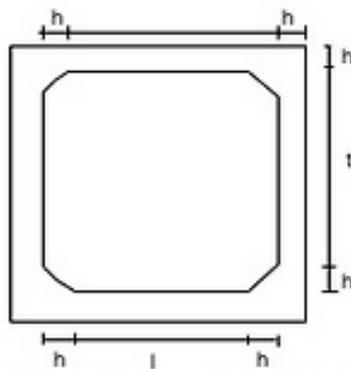
Rumus Penampang Ekonomis:

$$B + 2mh = 2h\sqrt{m^2+1} \dots\dots\dots (2.70)$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/detik)
- R = Radius hidrolis (m)
- S = Kemiringan saluran
- A = Luas penampang basah saluran (m²)
- P = Keliling basah saluran (m)
- Q = Debit aliran (m³/detik)
- n = Koefisien kekasaran Manning (Tabel 2.34)
- w = Tinggi jagaan (m)
- B = Lebar saluran (m)
- m = Perbandingan dan kemiringan talud
- h = Tinggi muka air (m)

b. Dimensi Gorong-gorong bentuk persegi (*Boxculvert*)



Gambar 2.30 Dimensi Gorong-gorong Bersegi

$$A = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$b = 2h \dots\dots\dots (2.72)$$

$$A = I \times h \dots\dots\dots (2.73)$$

$$w = \sqrt{0,5h} \dots\dots\dots (2.74)$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran dalam saluran (m/detik)

Q = Debit aliran (m³/detik)

A = Luas penampang melintang (m²)

w = Tinggi jagaan (m)

b = Tinggi penampang saluran (m)

I = Lebar saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

Tabel 2.34 Koefisien Kekasaran Manning

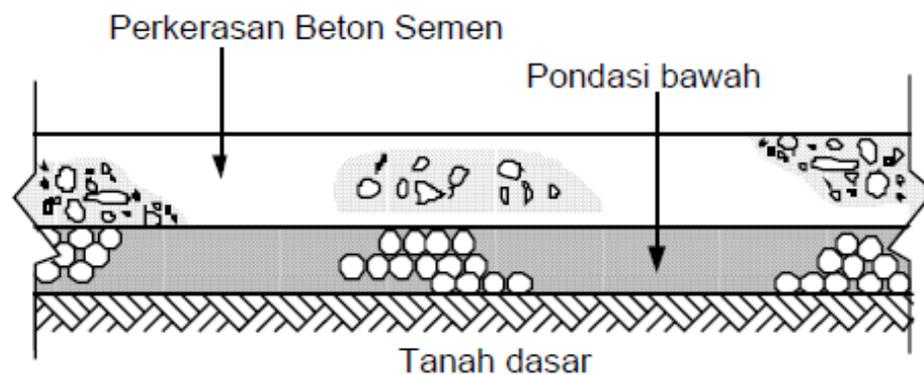
No	Tipe saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
SALURAN BUATAN					
1.	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2.	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6.	Dasar saluran dan tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
SALURAN ALAM					
8.	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9.	Seperti no.8 tapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10.	Melengkung, bersih, berlubang dan ber dinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045
11.	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12.	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13.	Seperti no.11, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI					
16.	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17.	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18.	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19.	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

2.11 Perkerasan Kaku

Perkerasan jalan beton semen atau secara umum disebut perkerasan kaku, terdiri atas lapisan permukaan (*surface*) berupa plat (*slab*) beton semen, lapisan pondasi bawah (*sub-base course*) berupa sirtu (batu pecah) atau semen tipis dan lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang sudah dipadatkan.

Berdasarkan Pd T-14-2003 mengenai Perencanaan Perkerasan Beton Semen, “Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas plat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal”.



Gambar 2.31 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen

Dalam konstruksi perkerasan kaku, plat beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan, karena kekuatan perkerasan lebih banyak ditentukan oleh kekuatan betonnya sendiri, maka peran pondasi bawah dalam mendukung beban lalu lintas menjadi tidak begitu signifikan. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur, dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan.

Menurut Saodang (2005:118) tiga faktor desain untuk perancangan perkerasan kaku yang sangat penting adalah:

- Kekuatan tanah dasar (*subgrade*) dan lapisan pondasi bawah (*sub-base*) yang diindikasikan lewat parameter k (*sub-base reaction*) atau CBR.
- Modulus keruntuhan lentur beton (*flexural strength* – f_{cf})
- Beban lalu lintas.

Menurut Shirley L.Hendarsin (2000:236) metode perencanaan yang diambil untuk menentukan tebal lapisan perkerasan kaku didasarkan pada perkiraan sebagai berikut:

- a. Kekuatan tanah dasar yang dinamakan CBR atau modulus reaksi tanah dasar (k).
- b. Kekuatan beton yang digunakan untuk lapisan perkerasan.
- c. Prediksi volume dan komposisi lalu lintas selama usia rencana.
- d. Ketebalan dan kondisi lapisan pondasi bawah (*sub-base*) yang diperlukan untuk menopang konstruksi, lalu lintas, penurunan akibat air dan perubahan volume lapisan tanah dasar serta sarana perlengkapan daya dukung permukaan yang seragam di bawah dasar beton.

Menurut *National Association of Australian State Road Authorities* (NAASRA) dalam Shirley L.Hendarsin (2000:236), tipe perkerasan beton semen dibedakan kedalam lima jenis, yaitu:

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (BBTT)
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (BBDT)
- c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (BMDT)
- d. Perkerasan beton semen dengan tulangan serat baja (*fiber*)
- e. Perkerasan beton semen pra-tekan.

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan. Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut:

- 1) Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
- 2) Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.
- 3) Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.

- 4) Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan dibawahnya. Bila diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi, permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5cm.

Adapun kelebihan dalam pemakaian konstruksi perkerasan kaku:

- a) Biaya awal pembangunan lebih murah dari pada perkerasan aspal.
- b) Perkerasan kaku lebih tahan terhadap drainase yang buruk
- c) Umur rencana dapat mencapai 20-40 tahun
- d) Pencampuran adukan beton mudah dikontrol
- e) Keseluruhan tebal perkerasan jauh lebih kecil daripada perkerasan aspal sehingga dari segi lingkungan/*environment* lebih menguntungkan
- f) Biaya pemeliharaan kecil, namun bila terjadi kerusakan biaya pemeliharaan lebih tinggi
- g) Perkerasan dibuat dalam panel-panel sehingga dibutuhkan sambungan-sambungan.

2.11.1 Persyaratan Teknis Perencanaan Perkerasan Kaku

A. Kekuatan Lapisan Tanah Dasar

Daya dukung Tanah dasar pada konstruksi perkerasan beton semen, ditentukan berdasarkan nilai CBR insitu dengan SNI 03-1731-1989, atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989 masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Disini apabila tanah dasar memiliki nilai CBR dibawah 2% maka digunakan pondasi bawah yang terbuat dari beton kuru (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15cm sehingga tanah dianggap memiliki CBR 5%

B. Lapisan Pondasi Bawah

Meskipun pada dasarnya lapis pondasi bawah pada perkerasan kaku tidak berfungsi terlalu struktural. Dalam arti kata keberadaannya tidak untuk

menyumbangkan nilai struktur pada tebal pelat beton. Menyediakan *Subbase* setebal 10 cm harus selalu dipasang kecuali apabila tanah dasar mempunyai sifat dan mutu yang sama dengan lapis pondasi bawah.

Lapis pondasi bawah pada perkerasan kaku mempunyai fungsi utama sebagai lantai kerja yang rata dan *uniform* karena jika permukaan *subbase* tidak rata dapat menyebabkan ketidakrataan pelat beton dan dapat memicu timbulnya keretakan pelat, disamping itu fungsi lain lapis pondasi bawah adalah sebagai berikut:

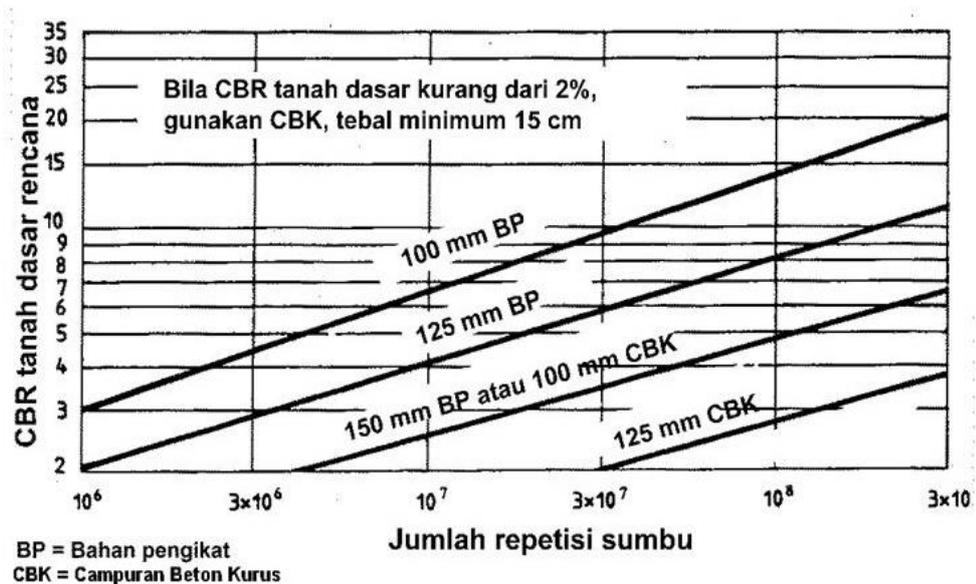
1. Mengendalikan kembang dan susut tanah dasar
2. Mencegah instrusi dan pemompaan (*pumping*) pada sambungan retakan dan tepi-tepi pelat
3. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat

Beberapa alternatif lapis pondasi bawah yang dapat digunakan:

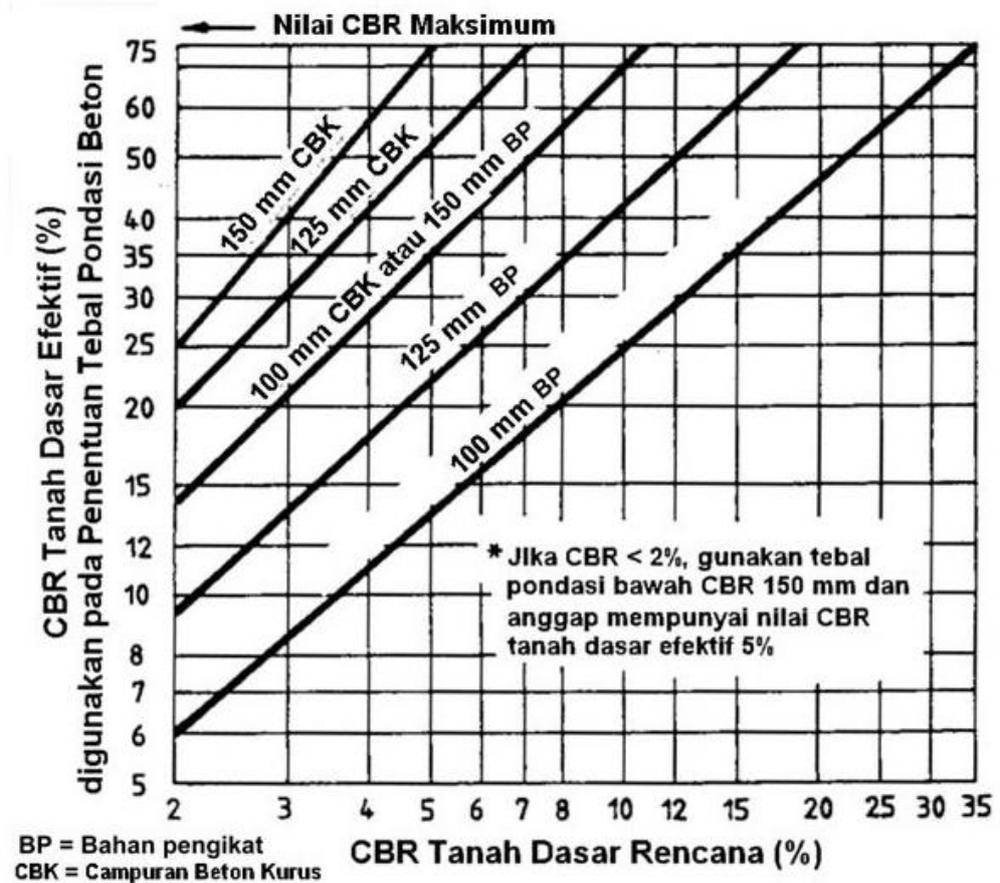
- a. Pondasi bawah dengan material berbutir lepas (*unbound granular*), dapat berupa sirtu. Harus memenuhi persyaratan SNI 03-6388-2000 dengan gradasi agregat minimum kelas B. Ketebalan minimum CBR 5 % adalah 15cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah adalah minimum 100 % sesuai dengan SNI 03-174301989.
- b. Pondasi bawah dengan bahan pengikat (*bound granular subbase*), dikenal dengan *Cement Treated Subbase*. Dapat digunakan salah satu dari:
 - i. Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat sesuai rancangan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Bahan pengikat berupa semen, kapur, abu terbang (*Fly Ash*) atau *Slog* yang harus dihaluskan.
 - ii. Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*)
 - iii. Campuran beton kurus giling padat (*lean rolled concrete*) yang mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 Mpa (55 kg/cm^2).
- c. Pondasi bawah dengan campuran beton kurus (*lean mix concrete*), harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 Mpa

(50 kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang atau 7 Mpa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang dengan tebal minimum 10 cm.

Lapis pondasi bawah bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus mempergunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.32 dan nilai CBR tanah dasar efektif dapat dilihat dari Gambar 2.33.



Gambar 2.32 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Kaku Terhadap Repetisi Sumbu



Gambar 2.33 CBR tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

C. Beton Semen

Kekuatan beton semen harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari (MR), yang didapat dari pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal tarik lentur umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan 3 – 5 Mpa (30 – 50 kg/cm²).

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik lentur beton dapat dengan rumus berikut:

$$f_{cf} = K \times (f_c')^{0.5} \text{ (dalam Mpa)} \dots\dots\dots (2.75)$$

$$f_{cf} = 3,13 \times K \times (f_c')^{0.5} \text{ (dalam kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.76)$$

Dimana:

f_c' = Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm^2)

f_{cf} = Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

K = Konstanta 0,7 untuk agregat tidak pecah 0,75 untuk agregat pecah

Bahan beton semen terdiri dari agregat, semen, air, dan bahan tambah jika diperlukan, dengan spesifikasi sebagai berikut:

a. Agregat

Agregat yang akan dipergunakan untuk perkerasan beton semen terdiri dari agregat halus dan kasar. Agregat halus terdiri dari pasir atau butiran-butiran yang lolos saringan no.4 (0,425) sedangkan agregat kasar yang tidak lolos saringan tersebut. Diameter agregat batu pecah harus $\leq 1/3$ tebal pelat atau $\leq 3/4$ jarak bersih minimum antar tulangan. Dengan persyaratan mutu agregat sesuai dengan yang tercantum dalam SK SNI S-04-1989-F.

b. Semen

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton umumnya tipe I yang harus sesuai dengan SNI 15-2049-1994. Semen yang digunakan harus sesuai dengan lingkungan dimana perkerasan akan dibangun.

c. Air

Air yang digunakan untuk campuran harus bersih dan terbebas dari minyak, garam, asam, lanau atau bahan-bahan lain dalam jumlah tertentu yang dapat merusak kualitas beton.

2.11.2 Lalulintas Rencana untuk Perkerasan Kaku

Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalulintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan yang terdiri dari 4 jenis kelompok sumbu adalah sebagai berikut:

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG)

- Sumbu tandem roda ganda (STdRG)
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG)

Dengan karakteristik kendaraan yang diperhitungkan

- a. Pada Perencanaan perkerasan kaku, jenis kendaraan yang diperhitungkan hanya kendaraan niaga yang mempunyai berat total minimum 5 ton.
- b. Khusus untuk perencanaan perkerasan kaku, beban lalulintas rencana didapatkan dengan mengakumulasi jumlah beban sumbu untuk masing-masing jenis kelompok dalam rencana lajur selama umur rencana.

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban terlihat pada Tabel 2.35.

Tabel 2.35 Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survey beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume niaga rendah	1,0

(Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.11.3 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas serta nilai ekonomis jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan kaku dapat direncanakan dengan Umur Rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

2.11.4 Pertumbuhan Lalulintas

Volume lalulintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalulintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots (2.77)$$

Dimana:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

I = Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun (%)

UR = Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalulintas juga dapat ditentukan melalui Tabel 2.36 berikut ini:

Tabel 2.36 Faktor Pertumbuhan Lalulintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan Lalulintas (i) pertahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.11.5 Lajur rencana dan Koefisien Distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari satu ruas jalan raya yang menampung lalulintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai dengan Tabel 2.37 berikut:

Tabel 2.37 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi
(C) Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

Lebar Perkerasan	Jumlah Lajur (n)	Koefisien Distribusi (C)	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 Lajur	1	1
$5,50 \leq L_p < 8,35$ m	2 Lajur	0,70	0,50
$8,25 \leq L_p < 11,25$ m	3 Lajur	0,50	0,475
$11,25 \leq L_p < 15,00$ m	4 Lajur	-	0,45
$15,00 \leq L_p < 18,75$ m	5 Lajur	-	0,425
$18,75 \leq L_p < 22,00$ m	6 Lajur	-	0,40

(Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.11.6 Perencanaan Tebal Pelat

Langkah-langkah dalam perencanaan tebal perkerasan kaku adalah sebagai berikut:

1. Pilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji atau menerus dengan tulangan.
2. Tentukan apakah akan menggunakan bahu beton atau bukan.
3. Tentukan jenis dan tebal pondasi bawah berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2.32.
4. Tentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang sesuai dengan Gambar 2.33.
5. Pilih kuat tarik lentur atau kuat tekan beton pada umur 28 hari (f'_{cf})
6. Pilih faktor keamanan beban lalulintas (F_{KB}).
7. Taksir tebal pelat beton (taksiran awal dengan tebal tertentu berdasarkan pengalaman atau menggunakan contoh yang tersedia).
8. Tentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari Tabel 2.38 atau Tabel 2.39.
9. Tentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik lentur (f'_{cf}).
10. Untuk setiap rentang beban kelompok sumbu tersebut, tentukan beban per roda dan kalikan dengan faktor keamanan (F_{KB}) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda ≥ 65 Kn (6,5 ton), anggap dan

gunakan nilai tersebut sebagai batas tertinggi pada Gambar 2.34 sampai Gambar 2.36.

11. Dengan faktor rasio tegangan (FRT) dan beban rencana, tentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 2.34, yang dimulai dari beban roda tertinggi dari jenis sumbu STRT tersebut.
12. Hitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
13. Dengan menggunakan menggunakan faktor erosi (FE), tentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi, dari Gambar 2.35 dan Gambar 2.36.
14. Hitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
15. Ulangi langkah 11 sampai dengan 14 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 2.34 dan Gambar 2.35 atau Gambar 2.36 yang masing-masing mencapai 10 juta dan 100 juta repetisi.
16. Hitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
17. Ulangi langkah 8 sampai dengan langkah 16 untuk setiap kelompok sumbu lainnya.
18. Hitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
19. Ulangi langkah 7 sampai dengan 18 hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

Tabel 2.38 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruji				Dengan Ruji/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
150	5	1,7	2,72	2,25	1,68	2,8	3,4	3,50	3,66	2,5	3,21	3,3	3,37
150	10	1,62	2,66	2,09	1,58	2,75	3,39	3,46	3,6	2,59	3,2	3,28	3,32
150	15	1,59	2,48	2,01	1,53	2,78	3,38	3,44	3,47	2,59	3,2	3,27	3,3
150	20	1,56	2,43	1,97	1,51	2,77	3,37	3,43	3,46	2,59	3,19	3,26	3,29
150	25	1,54	2,37	1,92	1,48	2,77	3,37	3,42	3,44	2,59	3,19	3,25	3,28
150	35	1,49	2,28	1,82	1,43	2,76	3,35	3,39	3,4	2,58	3,18	3,23	3,25
150	50	1,43	2,15	1,73	1,4	2,74	3,34	3,36	3,37	2,57	3,17	3,21	3,24
150	75	1,38	2,02	1,64	1,36	2,72	3,32	3,33	3,32	2,56	3,16	3,19	3,19
160	5	1,54	2,49	2,05	1,55	2,72	3,32	3,43	3,47	2,52	3,12	3,22	3,3
160	10	1,47	2,34	1,92	1,44	2,71	3,31	3,39	3,43	2,51	3,11	3,2	3,26
160	15	1,44	2,26	1,84	1,39	2,7	3,3	3,37	3,41	2,51	3,11	3,19	3,24
160	20	1,41	2,22	1,8	1,37	2,69	3,29	3,36	3,4	2,5	3,1	3,18	3,23
160	25	1,39	2,17	1,75	1,34	2,69	3,29	3,35	3,38	2,5	3,1	3,17	3,21
160	35	1,34	2,07	1,87	1,29	2,68	3,28	3,32	3,34	2,49	3,09	3,15	3,18
160	50	1,3	1,96	1,58	1,25	2,66	3,26	3,28	3,3	2,49	3,09	3,13	3,15
160	75	1,24	1,85	1,49	1,23	2,64	3,24	3,26	3,25	2,48	3,08	3,12	3,12
170	5	1,41	2,27	1,93	1,44	2,64	3,24	3,37	3,43	2,44	3,04	3,15	3,24
170	10	1,34	2,14	1,78	1,33	2,62	3,22	3,33	3,38	2,43	3,03	3,13	3,2
170	15	1,31	2,07	1,71	1,28	2,62	3,22	3,31	3,35	2,43	3,03	3,12	3,18
170	20	1,29	2,03	1,67	1,26	2,61	3,21	3,3	3,34	2,42	3,02	3,11	3,17
170	25	1,27	1,99	1,63	1,23	2,61	3,21	3,28	3,32	2,42	3,02	3,1	3,15
170	35	1,23	1,9	1,54	1,18	2,6	3,2	3,25	3,28	2,41	3,01	3,08	3,12
170	50	1,19	1,81	1,45	1,14	2,58	3,18	3,22	3,24	2,4	3,01	3,06	3,08
170	75	1,14	1,7	1,37	1,1	2,57	3,17	3,19	3,15	2,4	3	3,04	3,05
180	5	1,29	2,1	1,81	1,35	2,57	3,17	3,33	3,37	2,35	2,97	3,09	3,2
180	10	1,23	1,98	1,66	1,24	2,56	3,15	3,28	3,32	2,35	2,96	3,07	3,15
180	15	1,2	1,92	1,59	1,19	2,55	3,15	3,25	3,29	2,35	2,96	3,05	3,12
180	20	1,18	1,88	1,55	1,17	2,54	3,14	3,24	3,28	2,35	2,95	3,04	3,11
180	25	1,16	1,84	1,51	1,14	2,54	3,14	3,23	3,26	2,35	2,95	3,03	3,09
180	35	1,12	1,76	1,43	1,09	2,53	3,13	3,2	3,22	2,34	2,94	3,01	3,06
180	50	1,09	1,67	1,35	1,05	2,51	3,11	3,17	3,19	2,33	2,93	2,99	3,02
180	75	1,03	1,57	1,25	1,01	2,45	3,1	3,13	3,14	2,32	2,92	2,97	2,99
190	5	1,19	1,95	1,69	1,27	2,5	3,11	3,28	3,32	2,29	2,9	3,03	3,15
190	10	1,13	1,84	1,55	1,16	2,48	3,09	3,23	3,27	2,28	2,89	3	3,1
190	15	1,1	1,78	1,49	1,11	2,48	3,08	3,2	3,24	2,28	2,88	2,98	3,07
190	20	1,09	1,75	1,45	1,09	2,47	3,07	3,19	3,23	2,27	2,88	2,98	3,05
190	25	1,07	1,71	1,41	1,06	2,47	3,07	3,17	3,21	2,27	2,88	2,97	3,04
190	35	1,03	1,63	1,33	1,01	2,46	3,05	3,14	3,17	2,25	2,87	2,95	3
190	50	1	1,55	1,25	0,97	2,44	3,04	3,1	3,14	2,25	2,86	2,93	2,97
190	75	0,95	1,46	1,17	0,91	2,43	3,03	3,07	3,09	2,25	2,85	2,91	2,93
200	5	1,1	1,81	1,5	1,2	2,44	3,04	3,23	3,27	2,23	2,83	2,97	3,1
200	10	1,05	1,7	1,45	1,1	2,42	3,02	3,18	3,22	2,22	2,82	2,95	3,05
200	15	1,02	1,65	1,4	1,05	2,42	3,02	3,15	3,19	2,22	2,82	2,93	3,02
200	20	1,01	1,62	1,35	1,02	2,41	3,01	3,14	3,18	2,21	2,81	2,92	3,01
200	25	0,99	1,59	1,33	0,99	2,4	3,01	3,12	3,16	2,21	2,81	2,91	2,99
200	35	0,95	1,52	1,25	0,94	2,35	3	3,09	3,12	2,2	2,8	2,89	2,95
200	50	0,92	1,44	1,18	0,89	2,38	2,98	3,06	3,09	2,19	2,79	2,87	2,92
200	75	0,89	1,36	1,1	0,84	2,36	2,95	3	3,04	2,18	2,78	2,85	2,88
210	5	1,02	1,69	1,5	1,14	2,38	2,99	3,18	3,23	2,17	2,77	2,92	3,05
210	10	0,97	1,59	1,38	1,04	2,36	2,97	3,13	3,18	2,16	2,76	2,89	3,01
210	15	0,94	1,54	1,32	0,99	2,36	2,95	3,1	3,15	2,15	2,75	2,87	2,98
210	20	0,93	1,51	1,28	0,95	2,35	2,95	3,09	3,13	2,14	2,75	2,87	2,95
210	25	0,92	1,48	1,25	0,93	2,34	2,95	3,07	3,11	2,14	2,75	2,86	2,94
210	35	0,89	1,41	1,18	0,88	2,33	2,94	3,04	3,07	2,13	2,74	2,84	2,9
210	50	0,85	1,35	1,11	0,83	2,32	2,92	3,01	3,04	2,13	2,73	2,81	2,85
210	75	0,82	1,27	1,03	0,78	2,3	2,9	2,95	2,98	2,12	2,72	2,79	2,83

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 8 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CER Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Rujl				Dengan Rujl/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
220	5	0,94	1,59	1,42	1,08	2,33	2,93	3,14	3,19	2,11	2,71	2,87	3,02
220	10	0,9	1,49	1,3	0,98	2,31	2,91	3,09	3,13	2,1	2,7	2,84	2,96
220	15	0,88	1,44	1,25	0,93	2,3	2,9	3,06	3,1	2,09	2,69	2,82	2,93
220	20	0,87	1,42	1,22	0,91	2,29	2,89	3,05	3,09	2,08	2,69	2,81	2,92
220	25	0,85	1,39	1,18	0,88	2,29	2,89	3,03	3,07	2,08	2,69	2,8	2,9
220	35	0,82	1,33	1,11	0,83	2,28	2,88	2,99	3,03	2,07	2,68	2,78	2,86
220	50	0,79	1,27	1,04	0,79	2,25	2,85	2,96	3	2,07	2,67	2,75	2,83
220	75	0,76	1,19	0,97	0,73	2,24	2,85	2,92	2,99	2,05	2,68	2,72	2,78
230	5	0,88	1,49	1,35	1,03	2,28	2,88	3,1	3,14	2,05	2,65	2,82	2,98
230	10	0,84	1,41	1,24	0,94	2,25	2,85	3,05	3,09	2,04	2,64	2,79	2,92
230	15	0,82	1,38	1,19	0,89	2,25	2,85	3,02	3,05	2,03	2,64	2,77	2,89
230	20	0,81	1,34	1,16	0,87	2,24	2,84	3	3,05	2,03	2,63	2,75	2,88
230	25	0,8	1,31	1,12	0,84	2,23	2,83	2,98	3,03	2,03	2,63	2,75	2,86
230	35	0,77	1,25	1,05	0,78	2,21	2,81	2,94	2,99	2,02	2,62	2,73	2,82
230	50	0,74	1,19	0,99	0,74	2,2	2,8	2,91	2,95	2,01	2,61	2,7	2,78
230	75	0,71	1,12	0,91	0,7	2,19	2,79	2,86	2,91	2	2,6	2,68	2,74
240	5	0,82	1,4	1,29	0,98	2,23	2,83	3,06	3,11	1,99	2,6	2,78	2,94
240	10	0,79	1,32	1,18	0,89	2,21	2,81	3,01	3,05	1,98	2,59	2,74	2,88
240	15	0,77	1,28	1,13	0,85	2,2	2,8	2,98	3,02	1,98	2,58	2,72	2,85
240	20	0,76	1,25	1,1	0,83	2,19	2,79	2,96	3,01	1,97	2,57	2,72	2,84
240	25	0,75	1,23	1,06	0,8	2,18	2,78	2,94	2,99	1,97	2,57	2,71	2,82
240	35	0,72	1,17	0,99	0,74	2,17	2,76	2,9	2,95	1,95	2,56	2,69	2,78
240	50	0,69	1,12	0,94	0,7	2,15	2,75	2,88	2,91	1,95	2,55	2,65	2,74
240	75	0,67	1,05	0,85	0,66	2,13	2,74	2,83	2,88	1,94	2,54	2,63	2,69
250	5	0,77	1,33	1,23	0,94	2,18	2,78	3,02	3,07	1,94	2,54	2,73	2,9
250	10	0,74	1,25	1,12	0,86	2,15	2,76	2,97	3,01	1,93	2,53	2,7	2,85
250	15	0,72	1,21	1,07	0,81	2,15	2,75	2,94	2,98	1,93	2,53	2,68	2,82
250	20	0,71	1,18	1,04	0,79	2,14	2,74	2,93	2,97	1,92	2,52	2,67	2,8
250	25	0,7	1,15	1,01	0,76	2,13	2,73	2,91	2,95	1,92	2,52	2,65	2,78
250	35	0,68	1,11	0,95	0,71	2,12	2,71	2,87	2,91	1,91	2,51	2,64	2,74
250	50	0,65	1,05	0,89	0,67	2,1	2,7	2,83	2,88	1,9	2,5	2,61	2,7
250	75	0,63	0,99	0,82	0,61	2,08	2,69	2,79	2,83	1,89	2,49	2,59	2,65
260	5	0,73	1,25	1,18	0,9	2,13	2,73	2,99	3,03	1,89	2,49	2,69	2,87
260	10	0,7	1,18	1,08	0,82	2,11	2,71	2,93	2,98	1,88	2,48	2,65	2,81
260	15	0,68	1,15	1,03	0,78	2,1	2,7	2,9	2,95	1,88	2,48	2,64	2,78
260	20	0,67	1,12	1	0,75	2,09	2,69	2,89	2,93	1,87	2,47	2,63	2,76
260	25	0,66	1,1	0,97	0,73	2,08	2,69	2,87	2,91	1,87	2,47	2,62	2,74
260	35	0,64	1,05	0,91	0,68	2,07	2,68	2,83	2,87	1,85	2,46	2,59	2,7
260	50	0,61	1	0,85	0,64	2,05	2,65	2,8	2,84	1,85	2,45	2,55	2,67
260	75	0,59	0,95	0,78	0,58	2,03	2,64	2,75	2,78	1,84	2,44	2,54	2,61
270	5	0,68	1,19	1,13	0,87	2,09	2,69	2,95	3	1,84	2,44	2,65	2,83
270	10	0,66	1,12	1,03	0,79	2,07	2,67	2,9	2,94	1,83	2,43	2,62	2,78
270	15	0,64	1,09	0,98	0,75	2,05	2,66	2,87	2,91	1,83	2,43	2,6	2,75
270	20	0,63	1,05	0,95	0,72	2,05	2,65	2,85	2,9	1,82	2,42	2,59	2,73
270	25	0,62	1,04	0,93	0,7	2,04	2,64	2,83	2,88	1,82	2,42	2,58	2,71
270	35	0,6	0,99	0,87	0,65	2,02	2,63	2,79	2,84	1,81	2,41	2,55	2,67
270	50	0,58	0,95	0,81	0,61	2	2,61	2,76	2,8	1,8	2,4	2,52	2,63
270	75	0,56	0,89	0,74	0,57	1,99	2,59	2,7	2,75	1,79	2,39	2,5	2,58
280	5	0,65	1,13	1,08	0,83	2,05	2,65	2,92	2,97	1,8	2,4	2,62	2,8
280	10	0,62	1,05	0,99	0,75	2,03	2,63	2,86	2,91	1,79	2,39	2,58	2,74
280	15	0,6	1,03	0,94	0,72	2,01	2,62	2,83	2,88	1,78	2,38	2,55	2,71
280	20	0,6	1,01	0,92	0,69	2	2,61	2,82	2,87	1,77	2,37	2,55	2,7
280	25	0,59	0,99	0,89	0,67	1,99	2,6	2,8	2,85	1,77	2,37	2,54	2,68
280	35	0,57	0,94	0,83	0,62	1,97	2,58	2,76	2,81	1,75	2,36	2,51	2,64
280	50	0,55	0,9	0,78	0,59	1,95	2,56	2,72	2,77	1,75	2,35	2,48	2,6
280	75	0,53	0,85	0,71	0,53	1,94	2,55	2,68	2,72	1,74	2,34	2,45	2,55

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 8 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
						Tanpa Rujl				Dengan Rujl/Beton Bertulang			
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
290	5	0,61	1,08	1,04	0,8	2,01	2,61	2,89	2,93	1,75	2,35	2,58	2,77
290	10	0,59	1,01	0,95	0,73	1,95	2,59	2,83	2,88	1,74	2,34	2,54	2,71
290	15	0,58	0,98	0,9	0,7	1,97	2,58	2,8	2,85	1,74	2,34	2,53	2,68
290	20	0,57	0,96	0,88	0,67	1,96	2,57	2,79	2,83	1,73	2,33	2,51	2,67
290	25	0,56	0,94	0,85	0,65	1,95	2,56	2,77	2,81	1,73	2,33	2,5	2,65
290	35	0,54	0,9	0,8	0,6	1,93	2,54	2,73	2,77	1,72	2,32	2,47	2,61
290	50	0,52	0,86	0,75	0,55	1,92	2,52	2,69	2,74	1,71	2,31	2,44	2,55
290	75	0,5	0,81	0,68	0,52	1,9	2,5	2,64	2,68	1,7	2,3	2,42	2,51
300	5	0,58	1,03	1	0,77	1,97	2,57	2,86	2,9	1,71	2,31	2,55	2,74
300	10	0,56	0,97	0,91	0,7	1,95	2,55	2,8	2,85	1,7	2,3	2,51	2,68
300	15	0,55	0,94	0,87	0,67	1,93	2,54	2,77	2,82	1,69	2,3	2,49	2,65
300	20	0,54	0,92	0,85	0,65	1,92	2,53	2,76	2,8	1,68	2,29	2,48	2,64
300	25	0,53	0,9	0,82	0,63	1,91	2,52	2,74	2,78	1,68	2,29	2,46	2,62
300	35	0,51	0,86	0,77	0,58	1,89	2,5	2,7	2,74	1,67	2,28	2,43	2,58
300	50	0,49	0,82	0,72	0,54	1,88	2,48	2,66	2,7	1,65	2,26	2,41	2,53
300	75	0,47	0,78	0,65	0,5	1,86	2,45	2,61	2,65	1,65	2,25	2,37	2,48
310	5	0,55	0,98	0,97	0,74	1,94	2,54	2,83	2,88	1,67	2,27	2,51	2,71
310	10	0,53	0,92	0,89	0,68	1,91	2,51	2,77	2,82	1,66	2,26	2,47	2,65
310	15	0,52	0,89	0,84	0,65	1,89	2,49	2,75	2,79	1,65	2,25	2,45	2,62
310	20	0,51	0,88	0,82	0,63	1,89	2,49	2,74	2,77	1,64	2,24	2,44	2,61
310	25	0,5	0,86	0,79	0,6	1,88	2,48	2,73	2,75	1,64	2,24	2,43	2,59
310	35	0,49	0,82	0,74	0,55	1,86	2,45	2,63	2,71	1,63	2,23	2,4	2,55
310	50	0,47	0,78	0,69	0,51	1,84	2,44	2,62	2,67	1,62	2,22	2,37	2,5
310	75	0,45	0,74	0,63	0,48	1,82	2,42	2,58	2,62	1,61	2,21	2,34	2,45
320	5	0,53	0,94	0,93	0,71	1,9	2,5	2,8	2,85	1,63	2,23	2,48	2,69
320	10	0,51	0,88	0,85	0,65	1,87	2,48	2,74	2,79	1,62	2,22	2,44	2,63
320	15	0,5	0,85	0,81	0,62	1,85	2,45	2,71	2,76	1,61	2,21	2,42	2,6
320	20	0,49	0,84	0,79	0,6	1,85	2,45	2,7	2,74	1,6	2,2	2,41	2,58
320	25	0,48	0,82	0,75	0,58	1,84	2,44	2,68	2,72	1,6	2,2	2,4	2,55
320	35	0,46	0,78	0,71	0,54	1,82	2,42	2,64	2,68	1,59	2,19	2,37	2,52
320	50	0,44	0,75	0,67	0,51	1,8	2,4	2,6	2,64	1,58	2,18	2,33	2,47
320	75	0,43	0,71	0,61	0,45	1,78	2,38	2,55	2,59	1,57	2,17	2,31	2,42
330	5	0,5	0,9	0,9	0,69	1,87	2,47	2,78	2,82	1,59	2,19	2,45	2,65
330	10	0,48	0,85	0,82	0,63	1,84	2,44	2,72	2,76	1,58	2,18	2,41	2,6
330	15	0,47	0,82	0,79	0,6	1,82	2,42	2,69	2,73	1,57	2,17	2,39	2,57
330	20	0,46	0,8	0,75	0,58	1,81	2,42	2,67	2,72	1,56	2,16	2,38	2,55
330	25	0,45	0,78	0,74	0,56	1,8	2,41	2,65	2,7	1,55	2,15	2,36	2,53
330	35	0,45	0,74	0,69	0,52	1,78	2,39	2,61	2,66	1,55	2,15	2,33	2,49
330	50	0,42	0,71	0,64	0,48	1,76	2,36	2,57	2,62	1,54	2,14	2,3	2,45
330	75	0,41	0,68	0,59	0,45	1,74	2,35	2,52	2,57	1,53	2,13	2,28	2,4
340	5	0,48	0,86	0,87	0,65	1,84	2,44	2,75	2,79	1,55	2,15	2,42	2,63
340	10	0,46	0,8	0,79	0,61	1,81	2,41	2,69	2,74	1,54	2,14	2,38	2,57
340	15	0,45	0,78	0,75	0,58	1,79	2,39	2,65	2,71	1,53	2,14	2,36	2,54
340	20	0,44	0,77	0,73	0,57	1,78	2,38	2,64	2,69	1,52	2,13	2,35	2,52
340	25	0,44	0,75	0,71	0,55	1,77	2,37	2,62	2,67	1,52	2,12	2,33	2,5
340	35	0,43	0,72	0,65	0,51	1,75	2,35	2,58	2,63	1,51	2,11	2,3	2,45
340	50	0,4	0,68	0,62	0,47	1,73	2,33	2,54	2,59	1,5	2,1	2,27	2,42
340	75	0,39	0,65	0,55	0,43	1,71	2,31	2,49	2,54	1,49	2,09	2,24	2,37
350	5	0,45	0,83	0,85	0,63	1,8	2,41	2,72	2,77	1,51	2,11	2,39	2,61
350	10	0,44	0,78	0,77	0,59	1,77	2,38	2,67	2,71	1,5	2,1	2,35	2,55
350	15	0,43	0,75	0,74	0,56	1,75	2,36	2,64	2,68	1,5	2,1	2,33	2,52
350	20	0,42	0,74	0,71	0,55	1,75	2,35	2,62	2,66	1,49	2,09	2,32	2,5
350	25	0,42	0,72	0,69	0,53	1,74	2,34	2,6	2,64	1,49	2,09	2,3	2,48
350	35	0,41	0,69	0,64	0,49	1,72	2,32	2,56	2,6	1,48	2,08	2,27	2,44
350	50	0,39	0,65	0,6	0,46	1,69	2,29	2,52	2,56	1,46	2,07	2,24	2,39
350	75	0,37	0,62	0,54	0,42	1,67	2,28	2,47	2,51	1,45	2,06	2,21	2,34

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

Tabel 2.39 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton

Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton

Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi								
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Ruj				Dengan Ruj./Beton Berulang				
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG	
150	5	1,42	2,15	1,81	1,45	2,34	2,84	2,99	2,94	3	2,14	2,74	2,78	2,81
150	10	1,36	2,04	1,7	1,39	2,32	2,82	2,94	2,94	3	2,13	2,72	2,73	2,75
150	15	1,33	1,98	1,65	1,36	2,32	2,82	2,91	2,91	3	2,12	2,72	2,7	2,72
150	20	1,32	1,94	1,62	1,35	2,31	2,91	2,9	2,9	3	2,11	2,71	2,69	2,7
150	25	1,3	1,9	1,59	1,33	2,3	2,9	2,88	2,88	3	2,1	2,7	2,67	2,67
150	35	1,27	1,82	1,53	1,3	2,29	2,89	2,85	2,84	3	2,08	2,69	2,64	2,63
150	50	1,23	1,74	1,49	1,1	2,27	2,87	2,82	2,81	3	2,06	2,67	2,6	2,58
150	75	1,2	1,65	1,43	1,26	2,25	2,85	2,79	2,77	3	2,04	2,65	2,57	2,56
160	5	1,29	1,98	1,67	1,33	2,25	2,87	2,93	2,95	3	2,05	2,66	2,72	2,77
160	10	1,24	1,87	1,56	1,26	2,24	2,85	2,88	2,89	3	2,04	2,64	2,67	2,69
160	15	1,21	1,82	1,51	1,23	2,24	2,84	2,85	2,85	3	2,04	2,64	2,64	2,66
160	20	1,2	1,79	1,49	1,21	2,23	2,83	2,84	2,84	3	2,03	2,63	2,62	2,64
160	25	1,18	1,75	1,46	1,2	2,23	2,83	2,82	2,82	3	2,02	2,62	2,6	2,62
160	35	1,15	1,67	1,41	1,17	2,22	2,82	2,79	2,78	3	2,01	2,61	2,55	2,57
160	50	1,12	1,6	1,36	1,15	2,2	2,8	2,75	2,75	3	1,99	2,59	2,53	2,53
160	75	1,1	1,52	1,3	1,13	2,18	2,78	2,72	2,69	3	1,97	2,57	2,5	2,48
170	5	1,17	1,83	1,55	1,22	2,19	2,8	2,88	2,9	3	1,98	2,59	2,55	2,72
170	10	1,13	1,73	1,45	1,16	2,17	2,78	2,83	2,84	3	1,97	2,57	2,51	2,64
170	15	1,11	1,68	1,4	1,13	2,17	2,77	2,8	2,81	3	1,96	2,57	2,58	2,61
170	20	1,1	1,65	1,38	1,12	2,16	2,76	2,79	2,79	3	1,95	2,56	2,57	2,59
170	25	1,08	1,62	1,35	1,1	2,16	2,76	2,77	2,77	3	1,95	2,55	2,55	2,57
170	35	1,05	1,55	1,3	1,07	2,15	2,75	2,73	2,73	3	1,94	2,53	2,51	2,53
170	50	1,03	1,49	1,25	1,04	2,13	2,73	2,7	2,7	3	1,91	2,51	2,47	2,48
170	75	1,02	1,41	1,19	1,03	2,11	2,71	2,66	2,64	3	1,89	2,49	2,43	2,43
180	5	1,07	1,7	1,44	1,13	2,13	2,73	2,83	2,85	3	1,92	2,52	2,51	2,68
180	10	1,03	1,6	1,35	1,07	2,11	2,71	2,78	2,79	3	1,9	2,5	2,55	2,6
180	15	1,01	1,55	1,3	1,04	2,1	2,71	2,75	2,75	3	1,89	2,5	2,53	2,57
180	20	1,01	1,53	1,28	1,03	2,09	2,7	2,73	2,74	3	1,88	2,49	2,51	2,54
180	25	1	1,5	1,25	1,01	2,09	2,69	2,71	2,72	3	1,88	2,48	2,49	2,52
180	35	0,98	1,44	1,2	0,98	2,08	2,68	2,67	2,68	3	1,87	2,46	2,45	2,47
180	50	0,95	1,38	1,15	0,95	2,06	2,66	2,64	2,64	3	1,84	2,44	2,42	2,42
180	75	0,94	1,31	1,1	0,94	2,04	2,64	2,61	2,6	3	1,82	2,42	2,35	2,37
190	5	0,99	1,58	1,35	1,05	2,07	2,67	2,78	2,82	3	1,85	2,46	2,57	2,64
190	10	0,96	1,49	1,26	0,99	2,05	2,65	2,72	2,75	3	1,84	2,44	2,51	2,56
190	15	0,94	1,44	1,21	0,97	2,04	2,64	2,7	2,72	3	1,83	2,43	2,48	2,53
190	20	0,93	1,42	1,19	0,96	2,03	2,63	2,69	2,7	3	1,82	2,42	2,45	2,5
190	25	0,92	1,4	1,17	0,94	2,03	2,63	2,67	2,68	3	1,81	2,41	2,44	2,48
190	35	0,9	1,35	1,12	0,91	2,02	2,62	2,63	2,64	3	1,79	2,4	2,4	2,43
190	50	0,88	1,29	1,08	0,88	2	2,6	2,6	2,6	3	1,77	2,38	2,35	2,38
190	75	0,87	1,22	1,02	0,85	1,98	2,58	2,55	2,55	3	1,75	2,36	2,32	2,31
200	5	0,91	1,47	1,27	0,99	2,01	2,61	2,74	2,78	3	1,8	2,4	2,52	2,6
200	10	0,89	1,39	1,18	0,93	1,99	2,59	2,69	2,71	3	1,78	2,38	2,45	2,52
200	15	0,87	1,35	1,15	0,9	1,98	2,59	2,66	2,68	3	1,77	2,37	2,43	2,49
200	20	0,86	1,33	1,12	0,89	1,97	2,58	2,64	2,65	3	1,76	2,36	2,42	2,48
200	25	0,85	1,3	1,1	0,87	1,97	2,57	2,62	2,64	3	1,75	2,35	2,4	2,44
200	35	0,83	1,25	1,05	0,84	1,95	2,56	2,59	2,6	3	1,73	2,33	2,35	2,39
200	50	0,82	1,2	1,01	0,82	1,94	2,54	2,54	2,55	3	1,71	2,31	2,32	2,33
200	75	0,81	1,14	0,95	0,8	1,92	2,52	2,51	2,5	3	1,69	2,3	2,27	2,28
210	5	0,85	1,38	1,2	0,93	1,95	2,56	2,7	2,75	3	1,74	2,34	2,48	2,57
210	10	0,82	1,3	1,11	0,87	1,94	2,54	2,65	2,67	3	1,72	2,32	2,42	2,49
210	15	0,8	1,27	1,08	0,84	1,93	2,53	2,62	2,64	3	1,71	2,31	2,39	2,45
210	20	0,8	1,24	1,05	0,83	1,92	2,52	2,6	2,62	3	1,7	2,3	2,37	2,43
210	25	0,79	1,22	1,03	0,81	1,91	2,51	2,58	2,6	3	1,69	2,29	2,35	2,4
210	35	0,77	1,17	0,98	0,78	1,9	2,49	2,54	2,55	3	1,67	2,28	2,31	2,34
210	50	0,76	1,13	0,94	0,76	1,89	2,48	2,51	2,51	3	1,65	2,26	2,27	2,29
210	75	0,75	1,07	0,9	0,74	1,85	2,47	2,45	2,45	3	1,64	2,24	2,22	2,22

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: S

Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton (lanjutan)

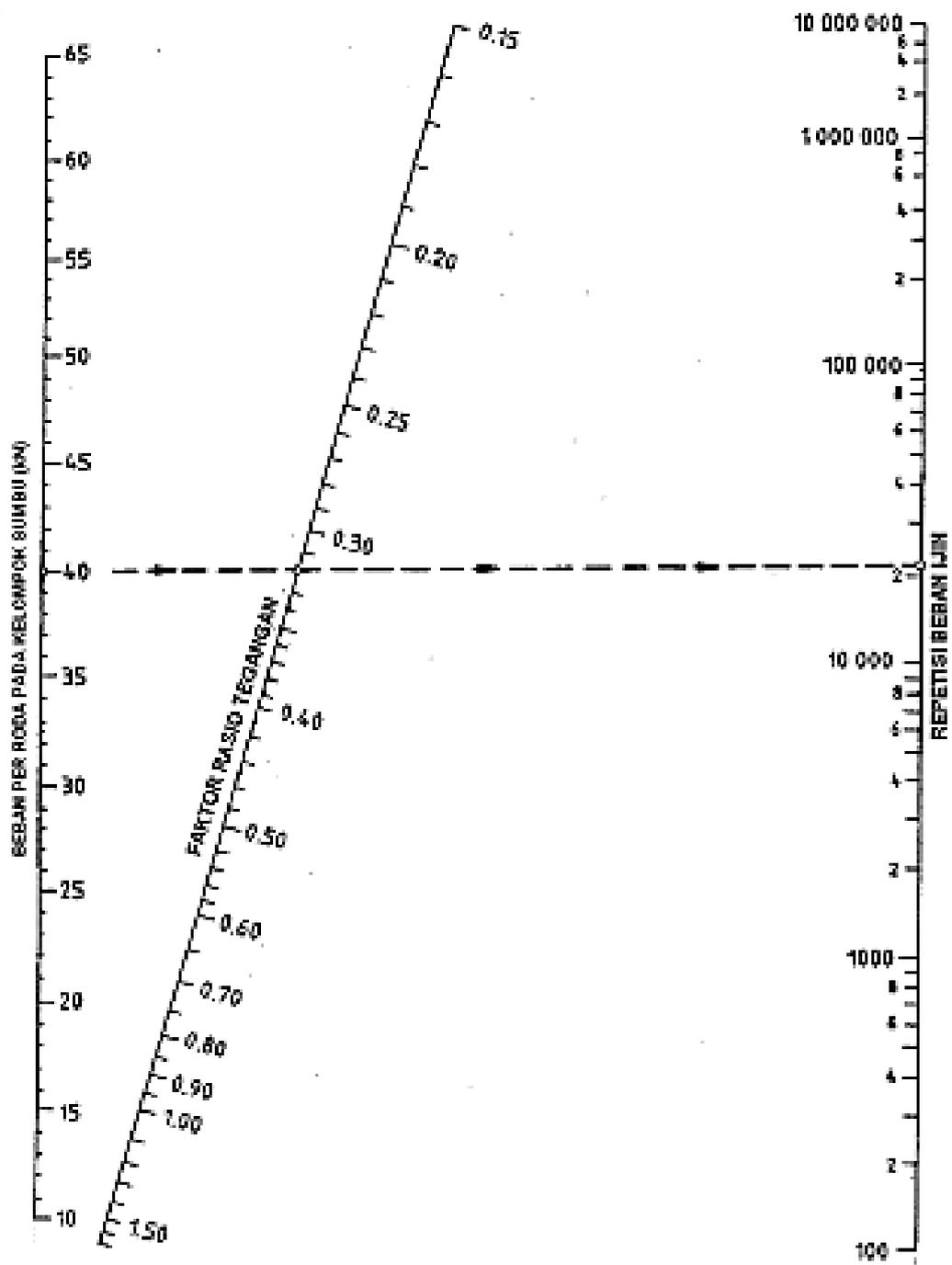
Tebal Slab (mm)	CBR Eff Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Rujl				Dengan Rujl/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
220	5	0,79	1,3	1,13	0,87	1,91	2,51	2,67	2,72	1,68	2,29	2,44	2,54
220	10	0,77	1,22	1,05	0,81	1,89	2,49	2,61	2,64	1,65	2,27	2,38	2,45
220	15	0,76	1,19	1,02	0,79	1,88	2,48	2,58	2,61	1,65	2,26	2,35	2,42
220	20	0,75	1,17	0,99	0,78	1,87	2,47	2,56	2,58	1,65	2,25	2,33	2,39
220	25	0,74	1,15	0,97	0,76	1,86	2,46	2,54	2,56	1,64	2,24	2,31	2,37
220	35	0,72	1,11	0,92	0,73	1,85	2,45	2,5	2,52	1,62	2,22	2,27	2,32
220	50	0,71	1,06	0,88	0,71	1,83	2,43	2,47	2,48	1,6	2,2	2,23	2,25
220	75	0,7	1,01	0,85	0,69	1,81	2,41	2,41	2,41	1,58	2,18	2,18	2,19
230	5	0,74	1,22	1,08	0,82	1,86	2,46	2,63	2,69	1,63	2,23	2,4	2,5
230	10	0,72	1,15	1	0,77	1,84	2,44	2,57	2,61	1,61	2,21	2,34	2,42
230	15	0,71	1,12	0,97	0,75	1,83	2,43	2,54	2,58	1,6	2,21	2,31	2,39
230	20	0,7	1,1	0,94	0,74	1,82	2,42	2,52	2,55	1,59	2,2	2,29	2,36
230	25	0,69	1,08	0,92	0,72	1,81	2,41	2,5	2,53	1,58	2,19	2,27	2,34
230	35	0,68	1,04	0,87	0,69	1,8	2,4	2,45	2,48	1,55	2,17	2,23	2,29
230	50	0,67	1	0,83	0,67	1,78	2,38	2,43	2,44	1,54	2,15	2,19	2,22
230	75	0,66	0,96	0,8	0,65	1,76	2,36	2,37	2,37	1,53	2,13	2,12	2,15
240	5	0,69	1,16	1,02	0,78	1,81	2,41	2,6	2,66	1,58	2,18	2,36	2,47
240	10	0,67	1,09	0,95	0,72	1,79	2,39	2,54	2,58	1,55	2,17	2,3	2,39
240	15	0,66	1,06	0,92	0,7	1,78	2,38	2,51	2,55	1,55	2,15	2,27	2,35
240	20	0,65	1,04	0,89	0,69	1,77	2,37	2,49	2,52	1,54	2,14	2,25	2,33
240	25	0,65	1,02	0,87	0,68	1,76	2,36	2,47	2,5	1,53	2,13	2,23	2,31
240	35	0,64	0,98	0,83	0,66	1,75	2,35	2,43	2,45	1,51	2,11	2,19	2,25
240	50	0,63	0,95	0,79	0,63	1,73	2,33	2,39	2,41	1,49	2,1	2,15	2,19
240	75	0,62	0,89	0,76	0,61	1,71	2,31	2,34	2,34	1,48	2,08	2,1	2,13
250	5	0,65	1,09	0,98	0,73	1,77	2,37	2,56	2,63	1,54	2,14	2,32	2,45
250	10	0,63	1,03	0,9	0,69	1,74	2,35	2,5	2,55	1,52	2,12	2,26	2,37
250	15	0,62	1	0,87	0,67	1,73	2,34	2,47	2,52	1,5	2,11	2,23	2,33
250	20	0,61	0,99	0,85	0,66	1,72	2,33	2,45	2,49	1,49	2,1	2,22	2,3
250	25	0,61	0,97	0,83	0,64	1,72	2,32	2,43	2,47	1,48	2,09	2,2	2,29
250	35	0,6	0,93	0,79	0,61	1,71	2,3	2,39	2,42	1,4	2,07	2,16	2,22
250	50	0,59	0,9	0,75	0,59	1,68	2,28	2,36	2,38	1,44	2,05	2,11	2,16
250	75	0,58	0,86	0,72	0,57	1,66	2,27	2,3	2,31	1,43	2,03	2,06	2,1
260	5	0,61	1,04	0,93	0,71	1,72	2,33	2,53	2,61	1,49	2,09	2,29	2,42
260	10	0,6	0,98	0,86	0,66	1,7	2,3	2,47	2,53	1,47	2,07	2,23	2,34
260	15	0,59	0,95	0,83	0,63	1,69	2,29	2,44	2,49	1,45	2,05	2,2	2,3
260	20	0,58	0,94	0,81	0,62	1,68	2,28	2,42	2,46	1,45	2,05	2,19	2,28
260	25	0,57	0,92	0,79	0,61	1,67	2,27	2,4	2,44	1,44	2,04	2,16	2,25
260	35	0,56	0,88	0,75	0,59	1,66	2,26	2,36	2,39	1,42	2,02	2,12	2,19
260	50	0,56	0,85	0,71	0,56	1,64	2,24	2,32	2,35	1,4	2	2,08	2,13
260	75	0,55	0,81	0,68	0,54	1,62	2,22	2,27	2,28	1,38	1,98	2,01	2,05
270	5	0,57	0,99	0,89	0,66	1,68	2,28	2,5	2,58	1,45	2,05	2,25	2,39
270	10	0,55	0,93	0,83	0,62	1,66	2,26	2,44	2,5	1,43	2,03	2,2	2,31
270	15	0,55	0,9	0,8	0,6	1,65	2,25	2,41	2,47	1,41	2,02	2,17	2,27
270	20	0,54	0,89	0,78	0,59	1,64	2,24	2,39	2,44	1,4	2,01	2,15	2,25
270	25	0,54	0,87	0,76	0,58	1,63	2,23	2,37	2,42	1,39	2	2,13	2,22
270	35	0,53	0,84	0,72	0,56	1,61	2,22	2,33	2,37	1,37	1,98	2,09	2,15
270	50	0,53	0,8	0,68	0,53	1,59	2,2	2,29	2,32	1,35	1,96	2,04	2,11
270	75	0,52	0,77	0,65	0,52	1,58	2,18	2,24	2,25	1,34	1,94	1,99	2,03
280	5	0,54	0,94	0,85	0,63	1,64	2,25	2,48	2,56	1,4	2,01	2,22	2,37
280	10	0,52	0,89	0,79	0,6	1,62	2,22	2,41	2,48	1,38	1,99	2,16	2,29
280	15	0,52	0,86	0,76	0,58	1,61	2,2	2,38	2,44	1,37	1,97	2,13	2,25
280	20	0,51	0,85	0,74	0,57	1,6	2,2	2,36	2,42	1,35	1,96	2,12	2,22
280	25	0,51	0,83	0,73	0,56	1,59	2,19	2,34	2,39	1,35	1,95	2,1	2,2
280	35	0,5	0,8	0,69	0,54	1,57	2,18	2,3	2,34	1,33	1,93	2,06	2,14
280	50	0,5	0,76	0,65	0,51	1,55	2,16	2,26	2,29	1,31	1,91	2,01	2,08
280	75	0,49	0,74	0,62	0,49	1,54	2,14	2,21	2,22	1,29	1,89	1,96	2

STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su

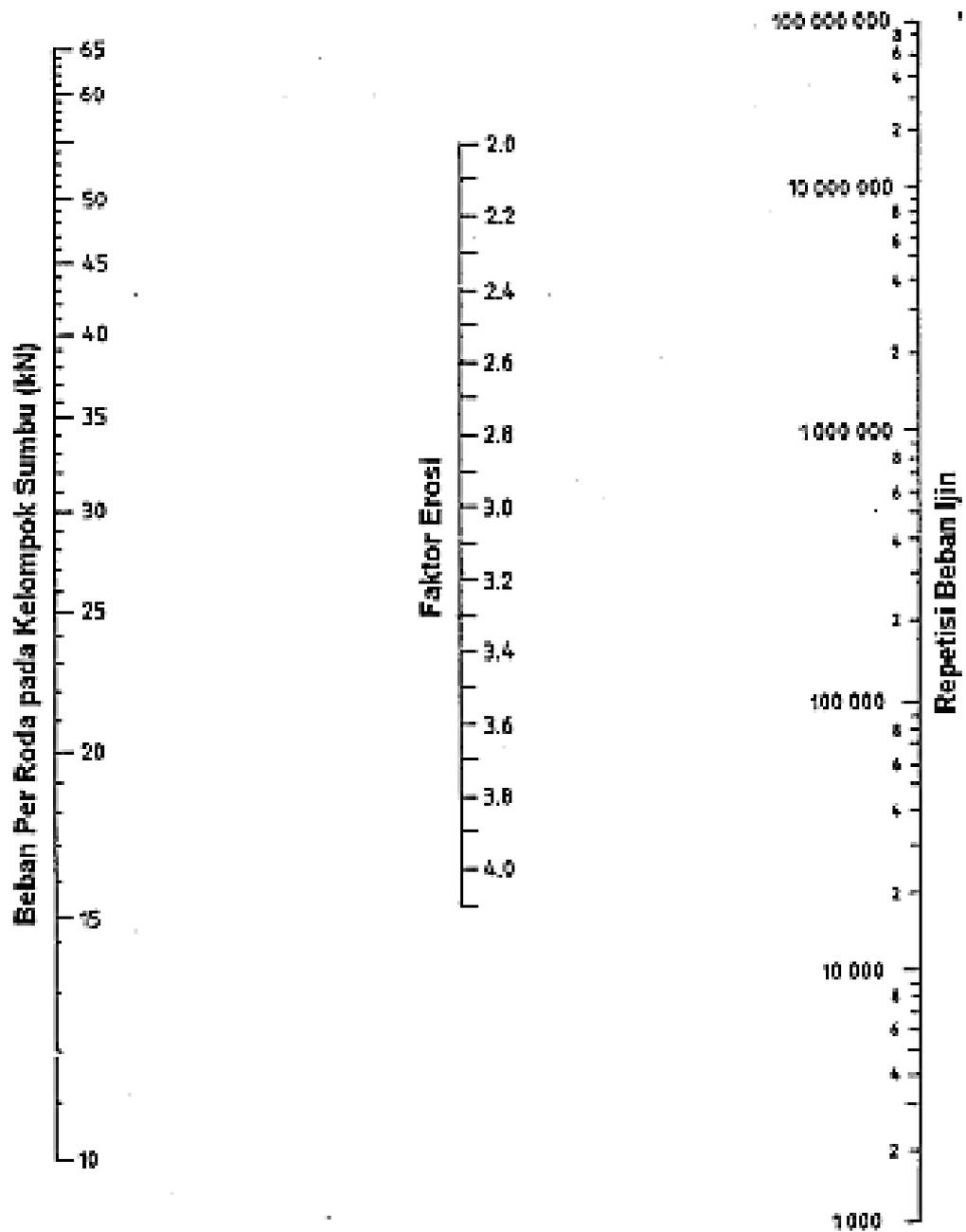
Tabel 9 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Dengan Bahu Beton (lanjutan)

Tebal Slab (mm)	CBR E ⁿ Tanah Dasar (%)	Tegangan Setara				Faktor Erosi							
		STRT	STRG	STdRG	STrRG	Tanpa Rujl				Dengan Rujl/Beton Bertulang			
						STRT	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
290	5	0,51	0,9	0,52	0,6	1,51	2,21	2,45	2,54	1,36	1,97	2,15	2,34
290	10	0,5	0,85	0,76	0,57	1,58	2,18	2,39	2,46	1,34	1,94	2,13	2,26
290	15	0,5	0,82	0,73	0,55	1,55	2,16	2,36	2,42	1,33	1,92	2,1	2,22
290	20	0,49	0,81	0,72	0,54	1,55	2,18	2,34	2,39	1,32	1,92	2,08	2,2
290	25	0,49	0,79	0,7	0,53	1,55	2,15	2,32	2,37	1,31	1,91	2,06	2,17
290	35	0,48	0,76	0,65	0,51	1,53	2,14	2,28	2,32	1,29	1,89	2,02	2,11
290	50	0,47	0,73	0,63	0,49	1,51	2,12	2,23	2,27	1,27	1,87	1,98	2,05
290	75	0,47	0,7	0,6	0,47	1,5	2,1	2,18	2,19	1,25	1,85	1,93	1,98
300	5	0,49	0,86	0,79	0,58	1,57	2,17	2,42	2,52	1,32	1,93	2,16	2,32
300	10	0,48	0,81	0,73	0,55	1,55	2,15	2,36	2,44	1,3	1,91	2,1	2,24
300	15	0,47	0,78	0,7	0,53	1,53	2,14	2,33	2,4	1,29	1,89	2,07	2,2
300	20	0,46	0,77	0,69	0,52	1,52	2,13	2,31	2,37	1,28	1,88	2,05	2,18
300	25	0,48	0,76	0,67	0,51	1,51	2,12	2,29	2,35	1,27	1,87	2,03	2,15
300	35	0,46	0,73	0,64	0,49	1,49	2,1	2,25	2,3	1,25	1,85	1,99	2,09
300	50	0,45	0,7	0,6	0,48	1,48	2,08	2,2	2,24	1,23	1,83	1,95	2,03
300	75	0,45	0,67	0,57	0,45	1,48	2,08	2,15	2,17	1,21	1,81	1,9	1,95
310	5	0,45	0,81	0,76	0,55	1,54	2,14	2,4	2,5	1,29	1,89	2,13	2,3
310	10	0,4	0,77	0,7	0,52	1,51	2,11	2,33	2,42	1,27	1,87	2,07	2,22
310	15	0,45	0,75	0,68	0,5	1,49	2,09	2,3	2,38	1,25	1,85	2,04	2,18
310	20	0,44	0,74	0,66	0,5	1,49	2,09	2,28	2,35	1,24	1,85	2,03	2,15
310	25	0,44	0,72	0,64	0,49	1,48	2,08	2,26	2,33	1,23	1,84	2,01	2,13
310	35	0,43	0,69	0,61	0,47	1,48	2,06	2,22	2,28	1,21	1,82	1,97	2,07
310	50	0,43	0,67	0,58	0,44	1,44	2,04	2,18	2,22	1,19	1,79	1,92	2,01
310	75	0,42	0,63	0,54	0,43	1,42	2,02	2,13	2,15	1,17	1,77	1,87	1,93
320	5	0,44	0,78	0,74	0,53	1,5	2,11	2,37	2,48	1,25	1,85	2,1	2,27
320	10	0,43	0,74	0,69	0,5	1,48	2,08	2,31	2,4	1,23	1,83	2,05	2,15
320	15	0,43	0,72	0,65	0,48	1,48	2,08	2,28	2,35	1,22	1,82	2,02	2,15
320	20	0,42	0,71	0,64	0,48	1,45	2,06	2,26	2,33	1,21	1,81	2	2,13
320	25	0,42	0,69	0,62	0,47	1,44	2,05	2,24	2,31	1,2	1,8	1,98	2,1
320	35	0,41	0,66	0,59	0,45	1,42	2,03	2,2	2,25	1,18	1,78	1,94	2,04
320	50	0,41	0,64	0,55	0,43	1,41	2,01	2,15	2,2	1,15	1,76	1,89	1,98
320	75	0,41	0,62	0,53	0,41	1,39	1,99	2,1	2,12	1,13	1,74	1,84	1,91
330	5	0,42	0,74	0,71	0,51	1,47	2,07	2,35	2,45	1,22	1,82	2,07	2,25
330	10	0,41	0,71	0,65	0,48	1,44	2,05	2,29	2,38	1,19	1,79	2,02	2,17
330	15	0,41	0,69	0,63	0,46	1,42	2,03	2,26	2,34	1,17	1,77	1,99	2,13
330	20	0,4	0,68	0,62	0,46	1,42	2,02	2,24	2,31	1,17	1,77	1,97	2,11
330	25	0,4	0,67	0,6	0,45	1,41	2,01	2,21	2,29	1,16	1,75	1,95	2,08
330	35	0,39	0,64	0,57	0,43	1,39	1,99	2,17	2,24	1,14	1,74	1,91	2,02
330	50	0,39	0,61	0,53	0,41	1,37	1,97	2,13	2,18	1,12	1,72	1,87	1,96
330	75	0,39	0,59	0,51	0,39	1,35	1,95	2,06	2,1	1,1	1,7	1,8	1,88
340	5	0,4	0,71	0,69	0,49	1,44	2,04	2,33	2,44	1,18	1,78	2,05	2,23
340	10	0,39	0,68	0,64	0,47	1,41	2,02	2,26	2,35	1,16	1,75	1,99	2,15
340	15	0,39	0,66	0,61	0,45	1,39	2	2,23	2,32	1,15	1,75	1,96	2,11
340	20	0,38	0,65	0,6	0,44	1,39	1,99	2,21	2,29	1,14	1,74	1,94	2,05
340	25	0,38	0,64	0,58	0,43	1,38	1,98	2,19	2,27	1,13	1,73	1,92	2,06
340	35	0,37	0,62	0,55	0,41	1,35	1,96	2,15	2,22	1,11	1,71	1,88	2
340	50	0,37	0,59	0,52	0,39	1,34	1,94	2,1	2,15	1,08	1,69	1,84	1,94
340	75	0,37	0,57	0,49	0,38	1,32	1,92	2,05	2,08	1,06	1,67	1,79	1,86
350	5	0,38	0,69	0,67	0,47	1,41	2,01	2,31	2,43	1,15	1,75	2,02	2,21
350	10	0,37	0,65	0,62	0,45	1,38	1,98	2,24	2,35	1,13	1,73	1,97	2,13
350	15	0,37	0,63	0,59	0,44	1,35	1,95	2,21	2,3	1,11	1,71	1,94	2,09
350	20	0,35	0,62	0,58	0,43	1,35	1,95	2,19	2,28	1,1	1,7	1,92	2,07
350	25	0,35	0,61	0,56	0,42	1,35	1,95	2,17	2,25	1,09	1,69	1,9	2,04
350	35	0,35	0,59	0,53	0,4	1,33	1,93	2,13	2,19	1,07	1,67	1,86	1,98
350	50	0,35	0,57	0,5	0,38	1,31	1,91	2,09	2,14	1,05	1,65	1,81	1,92
350	75	0,35	0,55	0,47	0,36	1,29	1,89	2,03	2,05	1,03	1,63	1,76	1,84

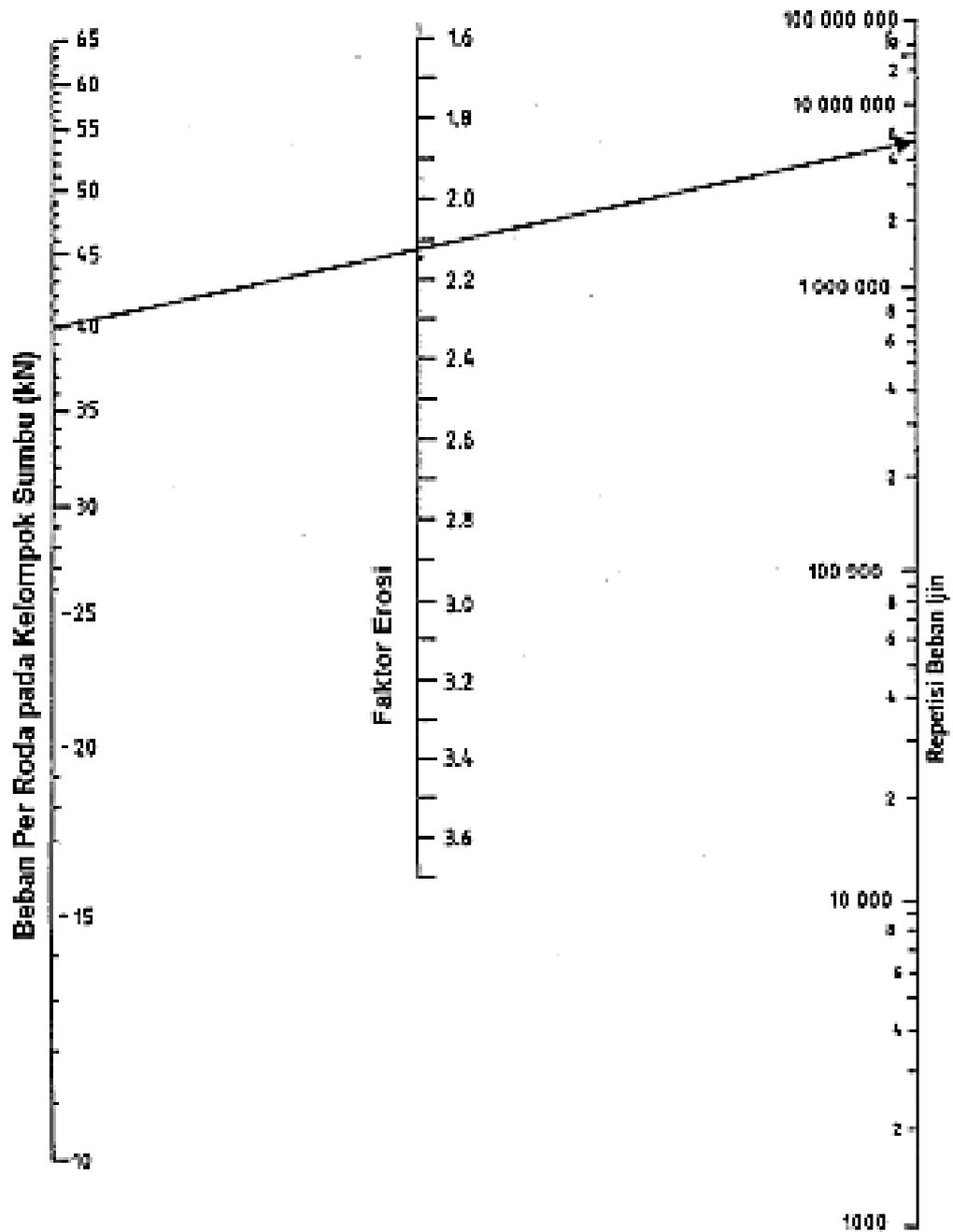
STRT: Sumbu Tunggal Roda Tunggal; STRG: Sumbu Tunggal Roda Ganda; STdRG: Sumbu Tandem Roda Ganda; STrRG: Su



Gambar 2.34 Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin berdasarkan Rasio Tegangan, dengan / Tanpa Bahu Beton



Gambar 2.35 Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin,
Berdasarkan Faktor Erosi, tanpa Bahu Beton



Gambar 2.36 Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin,
Berdasarkan Faktor Erosi, dengan Bahu Beton

2.11.7 Perencanaan Penulangan

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan untuk beton bertulang menerus diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut. Tujuan utama penulangan, yaitu:

- a. Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan
- b. Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan
- c. Mengurangi biaya pemeliharaan

A. Kebutuhan Penulangan pada Perkerasan Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan bersambung tanpa tulangan, penulangan tetap dibutuhkan untuk mengantisipasi atau meminimalkan retak pada tempat-tempat dimana dimungkinkan terjadi konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari, tipikal penggunaan penulangan khusus ini antara lain pada sambungan pelat tipis, sambungan yang tidak tepat dan pelat kubah atau struktur lain.

B. Penulangan pada Perkerasan Bersambung dengan Tulangan

Luas tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \dots\dots\dots (2.79)$$

Dimana:

A_s = Luas tulangan yang diperlukan (mm^2/m lebar)

μ = Koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan dibawahnya
(Tabel 2.41)

M = Berat per satuan volume pelat

L = Jarak antara sambungan (m)

H = Tebal pelat (m)

f_s = Kuat tarik ijin tulangan (Mpa)

Catatan: A_s minimum menurut SNI '91 untuk segala keadaan 0,14% dari luas penampang beton

Tabel 2.40 Koefisien Gesekan antara Pelat Beton Semen dengan Lapisan Pondasi dibawahnya

Jenis Pondasi	Faktor Gesekan (μ)
BURTU, LAPEN dan Konstruksi Sejenis	2,2
Aspal beton, LATASTON	1,8
Stabilisasi kapur	1,8
Stabilisasi aspal	1,8
Stabilisasi semen	1,8
Koral	1,5
Batu pecah	1,5
Sirtu	1,2
Tanah	0,9

(Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000)

C. Penempatan tulangan

Penulangan melintang pada perkerasan beton semen harus ditempatkan pada kedalaman lebih besar dari 65 mm dari permukaan untuk tebal pelat ≤ 20 cm dan maksimum sampai sepertiga tebal pelat untuk tebal pelat > 20 cm. Tulangan arah memanjang dipasang di atas tulangan arah melintang.

2.11.8 Sambungan

Keterbatasan kemampuan peralatan pelaksanaan serta pembatasan terhadap tegangan-tegangan yang timbul akibat pemuaihan, penyusutan, perbedaan suhu dan kadar air pada ketebalan pelat menuntut perkerasan beton semen dikerjakan dalam pola terpotong. Sehingga perencanaan sambungan pada perkerasan kaku merupakan bagian yang harus dilakukan pada perencanaan. Semua sambungan pada perkerasan kaku harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*)

Penyaluran beban antara pelat perkerasan disalurkan melalui ruji (dowel) berupa batang baja tulangan polos maupun profil yang digunakan sebagai sarana penyambungan/pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan. Dowel dipasang dengan separuh panjang terikat dan separuh panjang dilumasi/dicat untuk memberikan kebebasan bergeser. Ukuran dan jarak ruji yang disarankan dapat dilihat pada Tabel 2.41. Sedangkan *Tie Bar* atau batang pengikat merupakan potongan baja yang diprofilkan yang dipasang pada sambungan lidah alur dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal.

Tabel 2.41 Ukuran dan Jarak Ruji yang Disarankan

No.	Tebal Pelat Beto, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 \leq h \leq 140$	20
2	$140 \leq h \leq 160$	24
3	$160 \leq h \leq 190$	28
4	$190 \leq h \leq 220$	33
5	$220 \leq h \leq 250$	36

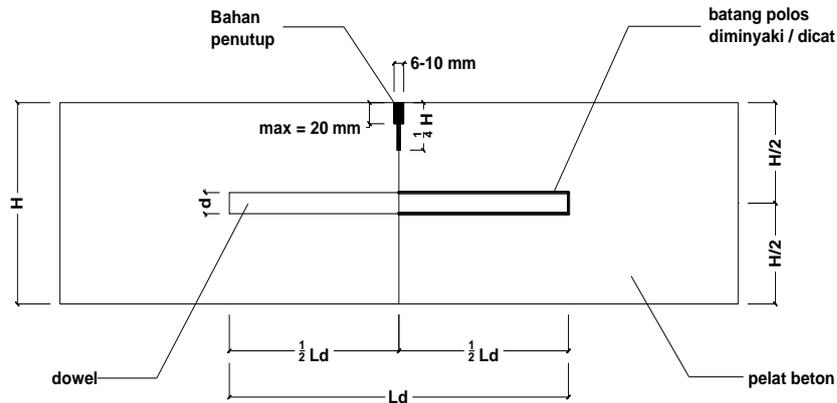
(Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

Pada dasarnya terdapat tiga jenis sambungan yang digunakan dalam konstruksi perkerasan beton bersambung, yaitu:

a. Sambungan Susut

Sambungan ini dibuat dalam arah melintang, pada jarak yang sama dengan panjang pelat yang telah ditentukan. Sambungan ini diperlukan untuk mengendalikan tegangan lenting dan retakan pada beton yang baru dihampar, yang diakibatkan oleh perubahan temperatur dan kelembaban pelat hingga batas tertentu. Agar retakan susut dapat terjadi pada sambungan susut, maka kedalaman takikan dibuat sama dengan $\frac{1}{4}$ tebal pelat.

Pada sambungan yang dibuat dengan memasang pengisi yang sudah dibentuk seperti *self expanding cork*. Bahan ini berfungsi sebagai bahan pengisi sekaligus sebagai bahan penutup sambungan. Sedangkan pada sambungan yang digergaji, penggergajian dilakukan setelah beton cukup keras. Waktu penggergajian dapat dilakukan antara 8 hingga 20 jam setelah pengecoran. Lebar penggergajian tidak kurang dari 3 mm dan tidak lebih dari 5 mm. Setiap sambungan susut harus dipasang ruji (*dowel*) yang berfungsi sebagai penyalur beban.

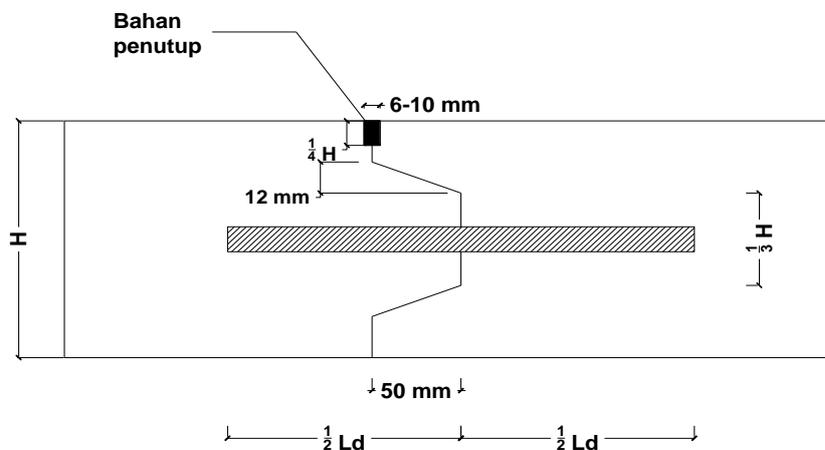


Gambar 2.37 Sambungan Susut Melintang dengan *Dowel*

b. Sambungan Pelaksanaan

Sambungan pelaksanaan ditempatkan pada perbatasan antar akhir pengecoran dengan awal pengecoran berikutnya, untuk memisahkan bagian-bagian yang dicor disaat yang berbeda. Sambungan pelaksanaan dalam arah memanjang dipasang diantara jalur-jalur perkerasan yang berbatasan. Sambungan dapat dibuat dengan cara menggergaji permukaan (membentuk takikan) yang kemudian diisi dengan bahan penutup sambungan (*preformed joint sealer*).

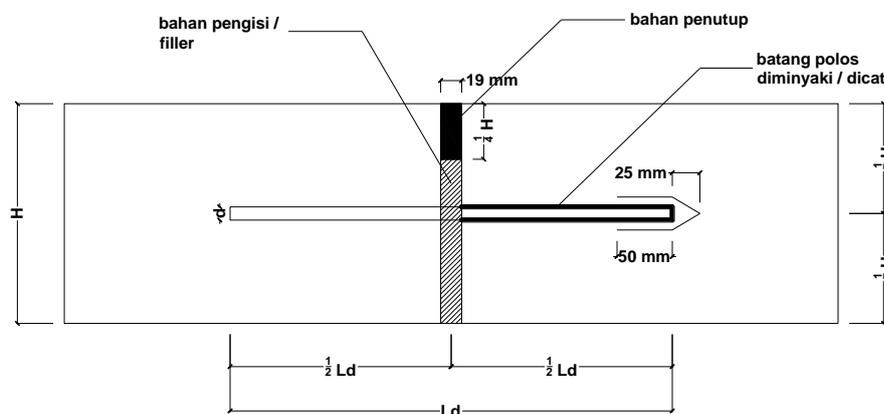
Sambungan pelaksanaan memanjang dengan bentuk lidah dari alur harus dilengkapi dengan batang pengikat (*tie bar*) yang diprofilkan serta dibuat dari baja U₂₄ dan dengan Ø16 mm, panjang 800 mm dan jarak 750 mm, sedangkan untuk sambungan pelaksanaan melintang harus dilengkapi dengan ruji (*dowel*).



Gambar 2.38 Sambungan Pelaksanaan Memanjang dengan Lidah Alur dan *Tie Bar*

c. Sambungan Muai

Sambungan muai bertujuan untuk membebaskan tegangan pada perkerasan beton. Sambungan ini terdapat pada pertemuan jalan baru dengan perkerasan lama pada persimpangan jalan. Sambungan muai dibuat dari bahan yang sudah dibentuk dan tidak merusak serta dapat mengikuti perubahan bentuk akibat tekanan. Bahan ini dipasang pada seluruh permukaan sambungan beton dan dipasangkan hanya setelah salah satu bidang sambungan mengeras. Untuk sambungan muai yang memisahkan dua bidang beton yang berdekatan, maka harus dipasang ruji (*dowel*) sebagai penyalur beban.



Gambar 2.39 Sambungan Muai dengan *Dowel*

2.12 Perhitungan Galian dan Timbunan

Dalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian sama dengan volume timbunan. Dengan mengkombinasikan alinyemen vertical dan horizontal memungkinkan kita untuk menghitung banyaknya volume galian dan timbunan.

Langkah-langkah dalam perhitungan galian dan timbunan, antara lain:

- Penentuan *stationing* (jarak patok) sehingga diperoleh panjang horizontal jalan dari alinyemen horizontal (trase jalan)
- Gambarkan profil memanjang (alinyemen vertikal) yang memperlihatkan perbedaan beda tinggi muka tanah asli dengan muka tanah rencana.
- Gambar potongan melintang (*Cross Section*) pada titik *stationing*, sehingga didapatkan luas galian dan timbunan.

- d. Hitung volume galian dan timbunan dengan mengalikan luas penampang rata-rata dari galian atau timbunan dengan jarak patok.

Tabel 2.42 Perhitungan Galian dan Timbunan

STA	Luas (m ²)		Jarak (m)	Volume (m ³)	
	Galian	Timbunan		Galian	Timbunan
0+000	A	A	L	$\frac{A+B}{2} \times L=C$	$\frac{A+B}{2} \times L=C$
0+100	B	B		$\frac{A+B}{2} \times L=C$	$\frac{A+B}{2} \times L=C$
Jumlah				ΣC	ΣC

2.13 Manajemen Proyek

Untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi yang tepat diperlukan adanya hubungan ketergantungan antar bagian-bagian pekerjaan dengan pekerjaan lainnya. Oleh karena itu dengan adanya pengelolaan proyek maka pekerjaan yang akan dikerjakan akan dapat sesuai dengan sasaran dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Pengelolaan proyek harus diatur secara baik agar pelaksanaan proyek berjalan sesuai dengan aturan, maka dari itu diperlukan pengaturan manajemen proyek dan perhitungan anggaran biaya proyek.

Manajemen proyek adalah semua kegiatan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian sumber daya untuk mencapai tujuan proyek yang tepat biaya, tepat mutu dan tepat waktu.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi lancarnya pelaksanaan suatu proyek konstruksi. Salah satunya adalah ketersediaan dana untuk membiayai pelaksanaan proyek konstruksi. Dalam industri konstruksi, estimasi biaya adalah istilah yang sering digunakan untuk menggambarkan perkiraan biaya yang akan digunakan untuk merealisasikan suatu proyek konstruksi. Proyek konstruksi dilakukan melalui beberapa tahapan yang membutuhkan rentang waktu tertentu sehingga estimasi biaya sangat dibutuhkan. Suatu proyek konstruksi akan sulit terwujud apabila tidak tersedia cukup dana untuk membiayainya. Sebaliknya, suatu proyek konstruksi akan berjalan lancar apabila dana yang dibutuhkan terpenuhi. Besarnya estimasi

biaya yang diperlukan untuk merealisasikan suatu proyek konstruksi harus sudah diketahui terlebih dahulu sebelum proyek berjalan agar dana yang dibutuhkan untuk melaksanakan proyek tersebut dapat dipersiapkan. Apabila dana untuk pelaksanaan proyek sudah dipersiapkan sejak awal maka kemungkinan terhentinya proyek ditengah jalan akibat kekurangan dana dapat di minimalisir.

Pengetahuan mengenai biaya proyek yang akan dilaksanakan sangat penting bagi para kontraktor dan pemilik proyek. Bagi para kontraktor, pengetahuan tersebut bermanfaat untuk menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB). Apabila suatu RAB memiliki nilai yang jauh lebih besar dari pada estimasi biaya maka hamper dapat dipastikan bahwa kontraktor telah melakukan *mark up* (pembengkakan) biaya proyek. Sedangkan apabila suatu RAB memiliki nilai yang jauh lebih kecil dari pada estimasi biaya maka bangunan yang akan dihasilkan kemungkinan tidak memiliki kualitas sebagaimana yang diharapkan. Agar suatu estimasi/perkiraan mendekati suatu kebenaran (*optimal*), diperlukan pengetahuan teknik dan berbagai pengetahuan rekayasa konstruksi, rekayasa konstruksi, rekayasa manajemen konstruksi, sebagaimana dalam definisi yang dikemukakan oleh AACE (*The American Association of Cost Engineer*) yang mengatakan bahwa: “*Cost Engineering* adalah area dari kegiatan *engineering* dimana pengalaman dan pertimbangan *engineering* dipakai pada aplikasi-aplikasi prinsip-prinsip teknik dan ilmu pengetahuan di dalam masalah perkiraan biaya dan pengendalian biaya”.

Untuk memperkirakan biaya konstruksi perkerasan jalan raya diperlukan desain tebal perkerasan, bahan, tenaga kerja, dan peralatan, hal tersebut memegang peranan penting dalam menentukan nilai estimasi biaya. Kualitas suatu estimasi proyek tergantung pada tersedianya data dan informasi, teknik atas metode yang digunakan serta kecakapan dan pengalaman estimastor. Tersedianya data dapat menambah keakuratan hasil estimasi biaya proyek yang dihasilkan. Keakuratan pekerjaan estimasi tergantung dari estimator yang membuat estimasi biaya. Fungsi dari estimasi biaya dalam industri konstruksi adalah:

- a. Untuk melihat apakah perkiraan biaya konstruksi dapat terpenuhi dengan biaya yang ada
- b. Untuk mengatur aliran dana ketika pelaksanaan konstuksi sedang berjalan

c. Untuk kompetensi pada saat proses penawaran.

Pada proyek konstruksi estimasi biaya selain dibuat oleh masing-masing pelaku jasa konstruksi sesuai dengan tahapan proyek konstruksi tersebut, juga dibuat oleh *owner* sebagai dasar memperkirakan harga proyek konstruksi terutama pada tahap pelaksanaan, sehingga dalam prakteknya terdapat beberapa istilah estimasi yang didasarkan pada pembuatan estimasi tersebut.

- 1) Estimasi yang dibuat oleh Pemilik, yang lebih pada umumnya disebut *Owner Estimate* (OE) digunakan oleh pemilik sebagai patokan biaya untuk menentukan kelanjutan investasi, patokan/pembanding dengan harga penawaran, analisa harga satuan yang akan diajukan oleh kontraktor dan untuk patokan/pembanding dengan analisa harga satuan, serta RAB yang dibuat oleh konsultan perencanaan.
- 2) Estimasi yang dibuat oleh Konsultan Kelayakan digunakan untuk memperkirakan harga konstruksi sebagai suatu investasi (biaya yang dikeluarkan antara lain biaya pembangunan gedungnya, pembebasan tanah, pengadaan peralatan utama dan lain sebagainya) dan selanjutnya akan dihitung dengan teori-teori perhitungan ekonomi investasi bahwa proyek konstruksi tersebut layak untuk dibangun.
- 3) Estimasi yang dibuat oleh Konsultan Perencana yang pada umumnya disebut dengan *Engineering Estimate* (EE) adalah rencana anggaran biaya (RAB) merupakan hasil kerja konsultan selain gambar rencana dan spesifikasi. RAB ini dibuat berdasarkan hasil survey lapangan, berkaitan dengan kriteria desain dan metode pelaksanaan. Perkiraan biaya (RAB) ini merupakan dokumen pemilik (rahasia) yang selanjutnya sebagai pembanding harga yang akan ditawarkan oleh kontraktor pada saat lelang.
- 4) Estimasi yang dibuat oleh Kontraktor pada umumnya disebut dengan *Contractor Estimate* (CE) atau *Bid Price*, digunakan kontraktor untuk mengajukan penawaran kepada pemilik, dengan keuntungan yang cukup memadai bagi kontraktor.

Sumber informasi terbaik adalah pengalaman perusahaan dari proyek-proyek yang pernah dikerjakan antara lain. Informasi mengenai jumlah material yang terpakai, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk suatu jenis pekerjaan.

Sebagaimana tahapan proyek konstruksi data dan informasi akan semakin lengkap dari tahap studi kelayakan sampai dengan tahap pelaksanaan, atau dalam arti kualitas perkiraan biaya akan semakin mendekati ketepatannya. Terdapat beberapa jenis estimasi yang didasarkan pada cara memperkirakan biaya suatu konstruksi, yaitu:

- a. Estimasi Kelayakan adalah sebagaimana tujuan dari tahap studi kelayakan adalah untuk menentukan apakah bangunan tersebut layak dibangun, maka memperkirakan biaya konstruksinya berdasarkan membandingkan dengan bangunan yang identik, dapat termasuk di dalamnya adalah biaya pembebasan tanah, namun untuk biaya bangunan dapat digunakan dengan cara estimasi konseptual.
- b. Estimasi Konseptual adalah memperkirakan biaya suatu bangunan berdasarkan satuan volume bangunan, atau faktor yang lain, dengan patokan harga yang didasarkan pada bangunan yang identik. Pada estimasi konseptual telah tersedia gambar lengkap ataupun belum lengkap. Beberapa metode estimasi konseptual sebagai berikut:
 - 1) Metode Satuan Luas (m^2), metode ini mengandalkan data dari proyek sejenis yang pernah dibangun. Metoda ini bersifat garis besar dan ketelitiannya rendah.
 - 2) Metode Satuan Isi (m^3) dapat dipakai pada bangunan dimana volume sangat dipentingkan. Metoda ini hanya dapat diandalkan untuk fase awal perencanaan dan perancangan untuk bangunan yang kurang lebih identik.
 - 3) Metode Harga Satuan Fungsional, yang menggunakan fungsi dari fasilitas sebagai dasar penetapan biaya.
 - 4) Metode Faktorial, dapat digunakan pada proyek bertipe sama. Metode ini berguna untuk proyek-proyek yang mempunyai komponen utama sama. Biaya komponen utama ini akan berfungsi sebagai faktor dasar 1.00.

Semua komponen yang lain harganya merupakan fungsi dari komponen utama.

- 5) Metode Sistematis (*Elemental Estimates* atau *Parametric Estimates*), di mana proyek dibagi atas system fungsionalnya. Harga satuan ditentukan oleh penjumlahan tiap harga satuan elemen dalam setiap system atau mengalikan dengan data faktor pengali yang ada.

2.14 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB (Rencana Anggaran Biaya) adalah perkiraan atau perhitungan biaya-biaya yang diperlukan untuk tiap-tiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi baik upah maupun bahan dalam sebuah pekerjaan proyek konstruksi, baik rumah, gedung, jembatan, jalan, bandara, pelabuhan dan lain-lain, sehingga kita memperoleh biaya total yang diperlukan dalam menyelesaikan proyek tersebut. RAB sangat dibutuhkan dalam sebuah proyek konstruksi agar proyek dapat berjalan dengan efisien kena dana yang cukup. Anggaran biaya merupakan harga dari bahan bangunan yan dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Secara umum ada 4 fungsi utama dari Rencana Anggaran Biaya (RAB):

- a. Menetapkan jumlah total biaya pekerjaan yang menguraikan masing-masing item pekerjaan yang akan dibangun. RAB harus menguraikan jumlah semua biaya upah kerja, material dan peralatan termasuk biaya lainnya yang diperlukan misalnya perizinan, kantor atau gudang sementara, fasilitas pendukung misalnya air, dan listrik sementara.
- b. Menetapkan daftar dan jumlah material yang dibutuhkan. Dalam RAB harus dipastikan jumlah masing-masing material di setiap komponen pekerjaan. Jumlah material didasarkan dari volume pekerjaan, sehingga kesalahan perhitungan volume setiap komponen pekerjaan akan mempengaruhi jumlah material yang dibutuhkan. Daftar dan jenis material yang tertuang dalam RAB menjadi dasar pembelian material ke *Supplier*.

- c. Menjadi dasar untuk penunjukan/pemilihan kontraktor pelaksana. Berdasarkan RAB yang ada, maka akan diketahui jenis dan besarnya pekerjaan yang akan dilaksanakan. Dari RAB tersebut akan kelihatan pekerja dan kecakapan apa saja yang dibutuhkan. Berdasarkan RAB tersebut akan diketahui apakah cukup diperlukan satu kontraktor pelaksana saja atau apakah diperlukan untuk memberikan suatu pekerjaan kepada subkontraktor untuk menangani pekerjaan yang dianggap perlu dengan spesialis khusus.
- d. Peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan pekerjaan akan diuraikan dalam estimasi biaya yang ada. Seorang estimator harus memikirkan bagaimana pekerjaan dapat berjalan secara mulus dengan menentukan peralatan apa saja yang dibutuhkan dalam pekerjaan tersebut. Dari RAB juga dapat diputuskan peralatan yang dibutuhkan apakah perlu dibeli langsung atau hanya perlu dengan system sewa. Kebutuhan peralatan dispesifikasikan berdasarkan jenis, jumlah dan lama pemakaian sehingga dapat diketahui berapa biaya yang diperlukan.

Rencana anggaran biaya meliputi Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), perhitungan sewa alat, rencana anggaran biaya (RAB), Rekapitulasi Biaya.

1) Rencana Kerja dan Syarat (RKS)

Penyusunan rencana kerja dan syarat (RKS) merupakan penjelasan tertulis perencanaan secara keseluruhan yang meliputi:

- (a) Keterangan mengenai pekerjaan
- (b) Keterangan mengenai pemberian tugas
- (c) Keterangan mengenai perancang
- (d) Keterangan mengenai pengawas bangunan

2) Daftar Harga Satuan Bahan dan Upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan bahan dan upah adalah satuan harga yang termasuk pajak-pajak.

3) Analisa Satuan Harga Pekerjaan

Yang dimaksud dengan analisa satuan harga adalah perhitungan-perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam satu proyek. Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap-tiap pekerjaan yang ada. Dari harga-harga yang terdapat di dalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

(a) Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisa harga satuan pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungannya dengan daftar harga satuan bahan dan upah. Biaya satuan pekerjaan dirinci berdasarkan:

- i. Bahan yang digunakan
- ii. Alat yang digunakan
- iii. Pekerja yang terlibat untuk pekerjaan tersebut

Biaya-biaya diatas adalah biaya yang langsung (*direct*) berkaitan dengan kegiatan atau pekerjaan tersebut dan disebut biaya langsung (*direct cost*).

Komponen biaya langsung (*direct cost*) antara lain dipengaruhi oleh:

- i. Lokasi pekerjaan
- ii. Ketersediaan bahan, peralatan, atau pekerja
- iii. Waktu

Disamping biaya langsung, terdapat pula biaya tambahan (*mark up*) atau biaya tidak langsung. Komponen biaya tambahan terdiri dari:

1. Biaya *Overhead*

Biaya *Overhead* adalah biaya tambahan yang harus dikeluarkan dalam pelaksanaan kegiatan atau pekerjaan namun tidak berhubungan langsung dengan biaya bahan, peralatan dan tenaga kerja. Contoh: Ketika bagian logistik memesan semen dilakukan menggunakan telepon genggam (HP). Biaya pulsa telepon tersebut tidak dapat ditambahkan pada harga semen yang dipesan. Contoh lain biaya operasional kantor proyek dilapangan (*site office*)

seperti listrik, air, telepon, gaji tenaga administrasi, dan seterusnya tidak dapat dimasukkan ke biaya pekerjaan pondasi beton.

2. Biaya Tak Terduga (*contingency cost*)

Biaya tak terduga (*contingency cost*) adalah biaya tambahan yang dialokasikan untuk pekerjaan tambahan yang mungkin terjadi (meskipun belum pasti terjadi). Contoh: Untuk pekerjaan pondasi beton diperlukan pemompaan lubang galian yang sebelumnya tidak terduga akan tergenang air hujan.

3. Keuntungan (*profit*)

Keuntungan (*profit*) adalah jasa bagi kontraktor untuk pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan kontrak.

4. Pajak (*tax*)

Berupa antara lain Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 10%, Pajak Penghasilan (Pph), dan lain-lain.

(b) Analisa Satuan Alat Berat

Perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:

- Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
- Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

2.15 Rencana Kerja (*Time Schedule*)

Untuk menyelesaikan suatu pekerjaan konstruksi diperlukan suatu perencanaan yang tepat untuk menyelesaikan tiap-tiap pekerjaan yang ada. Perencanaan kerja proyek meliputi pembuatan *Network Planning* (NWP) untuk mengetahui hubungan antar pekerjaan pada proyek, pembuatan *Barchat* untuk mengidentifikasi unsur waktu dan urutan pelaksanaan pekerjaan sehingga

pengaturan pemakaian alat dan bahan antar pekerjaan tidak saling mengganggu dan kurva “S” untuk mengetahui bobot tiap pekerjaan.

Rencana kerja memberikan informasi pembagian waktu secara rinci untuk masing-masing bagian pekerjaan dari pekerjaan awal sampai pekerjaan akhir. Manfaat dan kegunaan rencana kerja sebagai berikut:

- a. Alat koordinasi bagi pemimpin
- b. Pedoman kerja para pelaksana
- c. Pemimpin kemajuan pekerjaan
- d. Evaluasi hasil pekerjaan

2.15.1 Network Planning (NWP)

Didalam NWP dapat diketahui adanya hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan satu dengan yang lain. Hubungan ini digambarkan dalam suatu diagram *network*, sehingga kita akan dapat mengetahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan lain atau pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga orang dan alat dapat digeser ketempat lain. Adapun kegunaan dari NWP ini adalah:

- a. Merencanakan, *scheduling* dan mengawasi proyek secara logis.
- b. Memikirkan secara menyeluruh, tetapi juga secara mendetail dari proyek.
- c. Mendokumentasikan dan mengkomunikasikan rencana *scheduling* (waktu), dan alternatif-alternatif lain penyelesaian proyek dengan tambahan biaya.
- d. Mengawasi proyek dengan lebih efisien, sebab hanya jalur kritis (*critical path*) saja yang perlu konsentrasi pengawasan ketat.

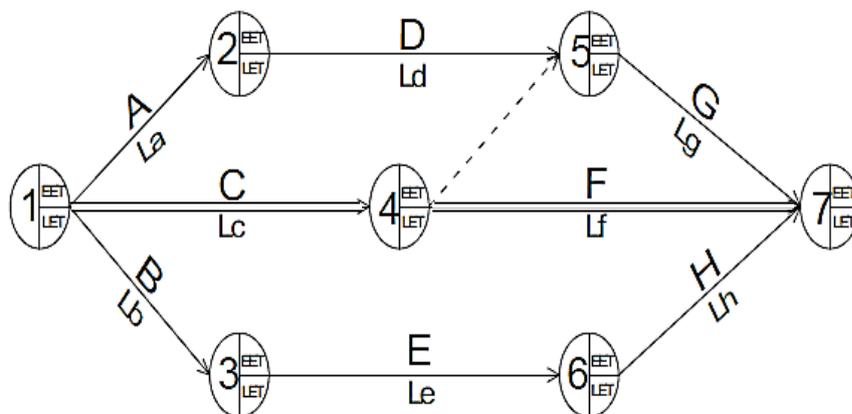
Adapun data-data yang diperlukan dalam menyusun NWP adalah:

- 1) Urutan pekerjaan yang logis.
Harus disusun pekerjaan apa yang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum pekerjaan lain dimulai, dan pekerjaan apa yang *slack*/kelonggaran waktu.
- 2) Biaya untuk mempercepat pekerjaan

Ini berguna apabila pekerjaan-pekerjaan yang berada di jalur kritis ingin dipercepat agar seluruh proyek segera selesai, misalnya: biaya lembur, biaya menambah tenaga kerja dan sebagainya.

Sebelum menggambar diagram NWP ada beberapa hal yang perlu kita perhatikan, antara lain:

- Panjang, pendek maupun kemiringan anak panah sama sekali tidak mempunyai arti, dalam pengertian letak pekerjaan, banyaknya durasi maupun *resources* yang dibutuhkan.
- Aktifitas-aktifitas apa yang mendahului dan aktifitas-aktifitas apa yang mengikuti.
- Aktifitas-aktifitas apa yang dapat dilakukan bersama-sama.
- Aktifitas-aktifitas itu di batasi mulai dan selesai.
- Waktu, biaya dan *resources* yang dibutuhkan dari aktifitas-aktifitas itu. Kemudian mengikutinya.
- Taksiran waktu penyelesaian setiap pekerjaan. Biasanya memakai waktu rata-rata berdasarkan pengalaman. Jika proyek itu baru sama sekali biasanya diberikan.
- Kepala anak panah menjadi arah pedoman dari setiap kegiatan.
- Besar kecilnya lingkaran juga tidak mempunyai arti dalam pengertian penting tidaknya suatu peristiwa.



Gambar 2.40 Network Planning (NWP)

Keterangan :

1. \longrightarrow (*Arrow*), bentuk ini merupakan anak panah yang artinya aktifitas atau kegiatan. Simbol ini merupakan pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan jangka waktu tertentu dan *resources* tertentu. Anak panah selalu menghubungkan dua buah nodes, arah dari anak – anak panah menunjukkan urutan – urutan waktu.
2.  (*Node/event*), bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian. Simbol ini adalah permulaan atau akhir dari suatu kegiatan
3. \Longrightarrow (*Double arrow*), anak panah sejajar merupakan kegiatan dilintasan kritis (*critikcal path*).
4. \dashrightarrow (*Dummy*), bentuknya merupakan anak panah terputus–putus yang artinya kegiatan semu atau aktifitas semu. Yang dimaksud dengan aktifitas semu adalah aktifitas yang tidak menekan waktu.
5.  1 = Nomor kejadian
 EET (*Earliest Event Time*) = waktu yang paling cepat yaitu menjumlahkan durasi dari kejadian yang dimulai dari kejadian awal dilanjutkan kegiatan berikutnya dengan mengambil angka yang terbesar.
 LET (*Laetest Event Time*) = waktu yang paling lambat, yaitu mengurangi durasi dari kejadian yang dimulai dari kegiatan paling akhir dilanjutkan kegiatan sebelumnya dengan mengambil angka terkecil.
6. A,...,H merupakan kegiatan, sedangkan La, Lb, Lc, Ld, Le, Lf, Lg dan Lh merupakan durasi dari kegiatan tersebut.

2.15.2 Barchart

Diagram *Barchart* mempunyai hubungan yang erat dengan *Network Planning*, *Barchart* ditunjukkan dengan diagram batang yang dapat menunjukan lamanya waktu pelaksanaan. Disamping itu juga dapat menunjukkan lamanya

pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan. *Barchart* mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan *Barchart* sebagai berikut:

- a. Mudah dibaca
- b. Mudah dibuat
- c. Bersifat sederhana

Kekurangan *Barchart* sebagai berikut:

- a. Sulit digunakan untuk pekerjaan yang besar
- b. Tidak terperinci
- c. Apabila terdapat kesalahan sukar untuk mengadakan perbaikan
- d. Tidak menunjukkan secara spesifik adanya hubungan ketergantungan

2.15.3 Kurva S

Kurva S dibuat berdasarkan bobot setiap pekerjaan dan lama waktu yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dari tahap pertama sampai akhirnya pekerjaan tersebut. Bobot pekerjaan merupakan persentase yang didapat dari perbandingan antara harga pekerjaan dengan harga total keseluruhan dari jumlah harga penawaran.