

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

2.1.1 Trase Jalan

Penentuan trase jalan merupakan tahapan yang sangat penting dalam pembangunan sebuah jalan raya, baik itu bersifat peningkatan jalan maupun untuk pembangunan jalan baru. Hal ini disebabkan pemilihan trase ini akan menentukan perancangan jalan dari berbagai aspek, antar lain perancangan geometri, perancangan galian-timbunan, struktur perkerasan, sistem drainase, pembebasan lahan, dan sebagainya.

Dalam rekayasa jalan, sebelum memasuki tahap perancangan (*design*) suatu jalan dan setelah melalui tahap perencanaan (*planning*), maka harus dilakukan penentuan trase. Trase merupakan seri dari garis-garis lurus yang merupakan rencana sumbu suatu jalan. Penentuan trase merupakan penentuan koridor terbaik antara dua titik yang harus dihubungkan, dengan mempertimbangkan juga faktor-faktor yang harus dihindari. Koridor dapat didefinisikan sebagai bidang memanjang yang menghubungkan dua titik.

Pembangunan suatu jalan diusahakan seoptimal mungkin, dalam arti secara teknis memenuhi persyaratan dan secara ekonomi memenuhi biaya pembangunannya, termasuk biaya pemeliharaan dan pengoprasian yang serendah mungkin. Serta harus diperhitungkan dampaknya terhadap lingkungan, sosial, serta aspek lainnya.

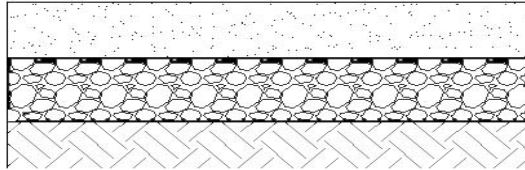
2.1.2 Rigid Pavement (Perkerasan Kaku)

Rigid Pavement atau biasa disebut perkerasan kaku dibuat dengan menggunakan bahan beton semen Portland dengan persyaratan tertentu sesuai dengan tuntutan fungsi dari perkerasan itu sendiri. Karena menggunakan bahan beton semen, maka perkerasan kaku juga sering disebut perkerasan beton semen (PBS).

Berbeda dengan struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang selalu menggunakan lapisan base dan subbase, PBS bias langsung diletakkan di atas subgrade tanpa menggunakan lapisan base (*base course*) atau untuk struktur PBS disebut dengan lapisan subbase (*subbase course*) atau pondasi bawah. Lapisan subbase digunakan untuk maksud-maksud tertentu, utamanya untuk menghadapi lapisan subgrade dengan karakteristik tertentu.

Fungsi utama perkerasan kaku yang berupa plat beton (*concrete slab*) adalah untuk memikul sebagian besar beban lalu lintas secara aman dan nyaman selama umur rencana tanpa terjadi kerusakan yang berarti.

Untuk dapat memenuhi tuntutan fungsi tersebut, maka perkerasan harus mampu mereduksi tegangan yang terjadi pada tanah dasar akibat beban lalu lintas sampai batas-batas yang masih mampu dipikul tanah dasar tersebut tanpa menimbulkan perbedaan lendutan/penurunan yang dapat merusak perkerasan sendiri. Perkerasan dirancang dan dibangun sedemikian rupa sehingga mampu mengatasi pengaruh kembang susut dan penurunan kekuatan tanah dasar, serta pengaruh cuaca dan kondisi lingkungan.



Gambar 2.1 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen

Jenis Perkerasan Beton Semen dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. **PBS Bersambung Tanpa Tulangan (*Jointed Unreinforced Concrete Pavement*)**

- Tanpa menggunakan tulangan
- Ukuran pelat mendekati bujur sangkar
- Panjang pelat dibatasi dengan adanya sambungan-sambungan melintang
- Panjang pelat berkisar antara 5 - 6 meter

Gambar 2.2 Penampang Melintang PBS Bersambung Tanpa Tulangan

b. **PBS Bersambung Dengan Tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*)**

- Menggunakan tulangan
- Ukuran pelat berbentuk empat persegi panjang
- Panjang pelat dibatasi dengan adanya sambungan-sambungan melintang
- Panjang pelat berkisar antara 10 - 30 meter

Gambar 2.3 Penampang Melintang PBS Bersambung Dengan Tulangan

c. **PBS Menerus Dengan Tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*)**

- Menggunakan tulangan
- Panjang pelat menerus dan hanya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan muai melintang
- Panjang pelat lebih besar dari 100 meter

Gambar 2.4 Penampang Melintang PBS Menerus Dengan Tulangan

d. **PBS Pratekan (*Prestressed Concrete Pavement*)**

- Umumnya dari jenis perkerasan beton menerus
- Tanpa tulangan, hanya menggunakan kabel-kabel pratekan untuk mengurangi pengaruh susut, muai, dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembaban



Gambar 2.5 Penampang Melintang PBS Pratekan

2.1.3 Prestressed System

Prinsip dasar sistem prategang mungkin telah dipakai pada konstruksi berabad-abad yang lalu dimana pada waktu tali atau pita logam diikatkan mengelilingi papan kayu yang melengkung yang membentuk sebuah tong. Pada waktu pita dikencangkan pelat akan tertarik yang kemudian akan menekan kayu-kayu ke dalam sehingga mampu menahan tarikan akibat tekanan cairan dari dalam. Dengan perkataan lain pita dan kayu dalam keadaan tertegang sebelum dibebani. Akan tetapi prinsip yang sama tersebut tidak dipakai sampai tahun 1888 ketika C.E.W. Doehring dari Jerman secara perorangan mendapatkan hak paten untuk beton yang diperkuat dengan logam yang telah ditarik sebelum dibebani. Pemakaian ini berdasarkan konsep bahwa beton lemah terhadap tarik dan kuat terhadap tekan, dan dengan menarik baja serta menahannya ke beton akan membuat beton tertekan yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengimbangi tegangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati ataupun beban hidup namun metode ini tidak berhasil dengan sukses karena gaya tarik prategang yang rendah didalam baja, kemudian hilang akibat susut dan rangkak pada beton

2.2 DASAR-DASAR PERENCANAAN

2.2.1 Dasar-dasar Perencanaan Trase Jalan

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi koridor jalan:

- Rencana jalan sebaiknya dibuat mengikuti medan
- Rencana jalan harus dibuat seefisien mungkin
- Rencana jalan diusahakan menempuh jarak sependek mungkin, namun dengan memperhitungkan kelandaian seminimum mungkin
- Rencana jalan jika akan/ harus memotong sungai, sebaiknya melewati bagian sungai yang paling sempit, serta jembatan penyebrangannya dibuat tegak lurus sungai
- Rencana jalan diusahakan tidak melewati daerah lahan kritis, yaitu daerah rawan longsor, daerah patahan, daerah genangan atau rawa-rawa.

2.2.2 Dasar-dasar Perencanaan Perkerasan Beton Semen Metode Bina Marga

Perencanaan perkerasan beton semen didasarkan pada fungsi utama perkerasan beton semen, yaitu untuk memikul sebagian besar beban lalu lintas. Perkerasan harus mampu mereduksi tegangan yang terjadi pada tanah sampai sebatas kemampuan tanah dasar. Selain itu, perkerasan juga harus mampu mengatasi kembang susut dan penurunan kekuatan tanah dasar, mempunyai sifat kekakuan yang cukup besar dan modulus elastisitas yang tinggi.

2.2.2.1 Besaran-besaran Rencana

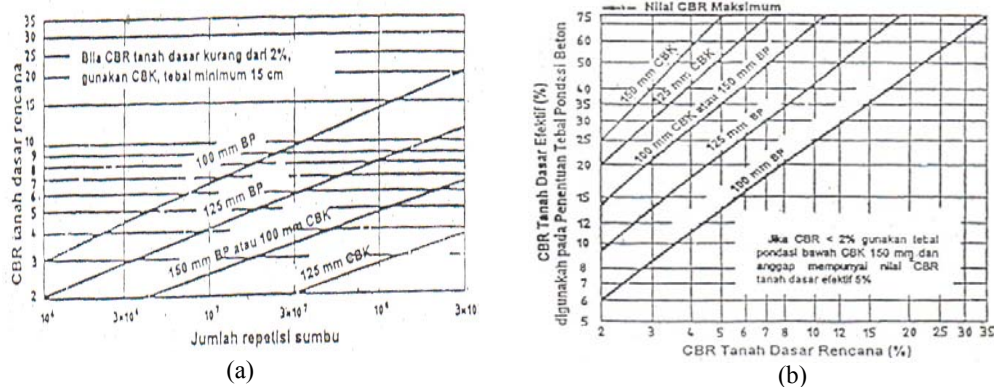
1) Kekuatan Tanah Dasar

Untuk perencanaan perkerasan beton semen, daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu atau CBR laboratorium, baik untuk perencanaan tebal perkerasan lama maupun perkerasan jalan baru. Besar nilai minimum CBR tanah dasar yaitu 2%. Apabila tanah dasar memiliki nilai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean Mix Concrete*) setebal 15 cm, yang dianggap mempunyai CBR sebesar 5%.

2) Pondasi Bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir, stabilisasi atau beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*), maupun campuran beton kurus (*Lean Mix Concrete*).

Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapisan pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dan CBR tanah dasar efektif didapat dari gambar berikut.



Sumber: Perencanaan Dan Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2002

Gambar 2.6 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton (a) dan CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah (b)

3) Umur Rencana

Umur rencana perkerasan (sama dengan umur rencana jalan), umumnya ditetapkan berdasarkan hasil analisis ekonomi dengan menggunakan dasar analisis *benefit-cost ratio* (B/C-Ratio), *International Rate Return* (IRR), ataupun *Net Present Value* (NPV).

Besar umur rencana untuk perkerasan kaku umumnya antara 20 – 40 tahun.

4) Lalu Lintas Rencana

Analisis terhadap beban lalu lintas yang direncanakan untuk perkerasan kaku adalah dengan menetapkan jumlah beban sumbu lalu lintas akumulatif untuk masing-masing jenis kelompok sumbu termasuk distribusi beban yang akan bekerja pada lajur rencana selama umur rencana jalan. Lalu lintas yang diperhitungkan didasarkan atas data kendaraan niaga (*commercial vehicle*).

a) Karakteristik Kendaraan

(1) Jenis kendaraan

Jenis kendaraan yang diperhitungkan adalah dari kelompok kendaraan niaga (*commercial vehicle*), yaitu kendaraan yang mempunyai kategori berat total minimum 5 ton.

(2) Konfigurasi sumbu beban roda

Konfigurasi sumbu yang diperhitungkan dalam hal ini ada 3 macam:

- Sumbu Tunggal dengan Roda Tunggal (STRT)
- Sumbu Tunggal dengan Roda Ganda (STRG)
- Sumbu Tandem/Ganda dengan Roda Ganda (STmRG) atau (SGRG)

Konfigurasi sumbu yang lain tidak diperhitungkan, atau bila terdapat sumbu triple harus disetarakan dengan sumbu tandem (pada umumnya jumlahnya tidak banyak).

b) Prosedur Perhitungan Lalu Lintas Rencana

Prosedur atau tatacara untuk menetapkan beban lalu lintas rencana adalah sebagai berikut :

- (1) Untuk masing-masing jenis kelompok sumbu kendaraan niaga, diestimasi besaran LHR-nya pada awal umur rencana.
- (2) Menghitung jumlah sumbu kendaraan niaga pada awal umur rencana.

- (3) Menghitung jumlah sumbu setiap beban sumbu, pada masing-masing jenis sumbu kendaraan niaga.
- (4) Mengubah/menyetarakan beban sumbu triple ke beban sumbu tandem bila data lalu lintas menunjukkan terdapat sejumlah sumbu triple.
- (5) Mengitung Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) selama Umur Rencana, dengan formula :

$$\mathbf{JSKN = 365 \times JSKNH \times C \times R}$$

Dimana :

JSKN = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

JSKNH = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

C = koefisien distribusi kendaraan

R = faktor pertumbuhan lalu lintas, yang besarnya tergantung pada faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) dan umur rencana (UR)

- Untuk $i \neq 0$ dan konstant selama umur rencana (UR)

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

- Untuk $i \neq 0$ dan setelah m tahun pertumbuhan lalu lintas tidak terjadi lagi ($i = 0$)

$$R = \frac{(1+i)^{UR}}{i} + (UR - URm) \left[(1+i)^{URm} - 1 \right]$$

Dimana:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %

URm = Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai

- (6) Menghitung proporsi beban setiap beban sumbu, untuk masing-masing jenis sumbu kendaraan niaga.

$$\mathbf{Proporsi\ Beban = \frac{(\text{jumlah sumbu tiap beban sumbu})}{(\text{jumlah sumbu total semua beban sumbu pada setiap jenis sumbu})}}$$

- (7) Menghitung proporsi sumbu untuk masing-masing jenis sumbu kendaraan niaga.

$$\mathbf{Proporsi\ Sumbu = \frac{(\text{jumlah sumbu total tiap jenis sumbu})}{(\text{total sumbu semua jenis sumbu})}}$$

- (8) Repetisi sumbu yang terjadi dihitung dengan mengalikan faktor proporsi beban, proporsi sumbu dan JKSN.

$$\text{Repetisi yang terjadi} = \text{Proporsi beban} \times \text{Proporsi Sumbu} \times \text{JKSN}$$

**Tabel 2.1 Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C)
Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana**

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

Sumber: *Perencanaan Dan Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2002*

2.2.2.2 Perencanaan Tebal Plat

Prosedur perencanaan tebal plat beton semen adalah sebagai berikut:

- 1) Memilih jenis perkerasan beton semen, bersambung tanpa ruji, bersambung dengan ruji, atau menerus dengan tulangan.
- 2) Menentukan apakah menggunakan bahu beton atau tidak.
- 3) Menentukan jenis dan tebal pondasi bawah, berdasarkan nilai CBR rencana dan perkiraan jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana sesuai dengan Gambar 2.6 (a).
- 4) Menentukan CBR efektif berdasarkan nilai CBR rencana dan pondasi bawah yang dipilih, sesuai Gambar 2.6 (b).
- 5) Menentukan faktor keamanan beban lalu lintas (FK) sesuai Tabel 2.2.
- 6) Menaksir tebal pelat beton, dengan tebal minimum 150 mm.
- 7) Menentukan tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE) untuk STRT dari tabel TE dan FE untuk perkerasan tanpa bahu beton, maupun dengan bahu beton.
- 8) Menentukan faktor rasio tegangan (FRT) dengan membagi tegangan ekuivalen (TE) oleh kuat tarik lentur (f_{cf}).
- 9) Menentukan beban per roda untuk setiap rentang kelompok beban kelompok sumbu, dan dikalikan dengan faktor keamanan beban (Fk) untuk menentukan beban rencana per roda. Jika beban rencana per roda $\geq 65 \text{ kN}$, maka nilai tersebut digunakan sebagai batas tertinggi pada gambar nomogram (Gambar 2.7 Nomogram Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan,

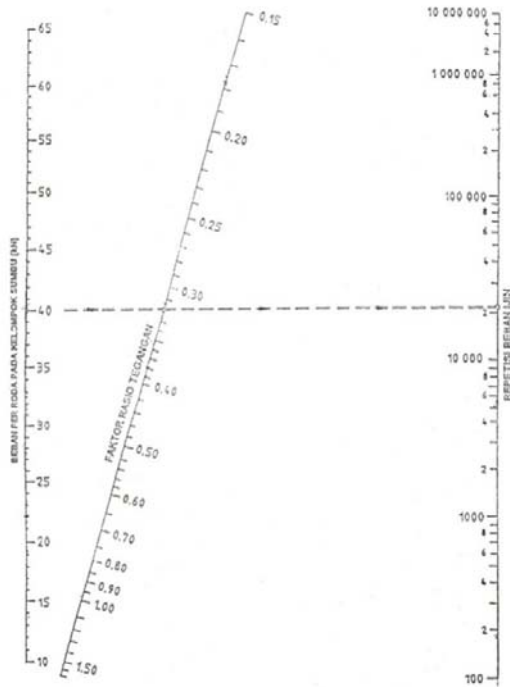
dengan/tanpa bahu beton - Gambar 2.9 Nomogram Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton)

- 10) Menentukan jumlah repetisi ijin untuk fatik dari Gambar 2.7 Nomogram Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan/tanpa bahu beton sesuai dengan FRT dan beban rencana, yang dimulai dari beban roda tertinggi pada jenis sumbu STRT tersebut.
- 11) Menghitung persentase dari repetisi fatik yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- 12) Menentukan jumlah repetisi ijin untuk erosi dari Gambar 2.8 atau Gambar 2.9, sesuai dengan faktor erosi (FE).
- 13) Menghitung persentase dari repetisi erosi yang direncanakan terhadap jumlah repetisi ijin.
- 14) Mengulangi langkah 10 hingga 13 untuk setiap beban per roda pada sumbu tersebut sampai jumlah repetisi beban ijin yang terbaca pada Gambar 2.7 - Gambar 2.9, yang masing-masing mencapai 10 juta dan 100 juta repetisi.
- 15) Menghitung jumlah total fatik maupun erosi dengan menjumlahkan persentase fatik maupun persentase erosi dari setiap beban roda pada STRT tersebut.
- 16) Mengulangi langkah 7 hingga 15 untuk setiap jenis kelompok sumbu lainnya.
- 17) Menghitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu.
- 18) Mengulangi langkah 6 sampai 17, hingga diperoleh ketebalan tertipis yang menghasilkan total kerusakan fatik dan atau erosi $\leq 100\%$. Tebal tersebut sebagai tebal perkerasan beton semen yang direncanakan.

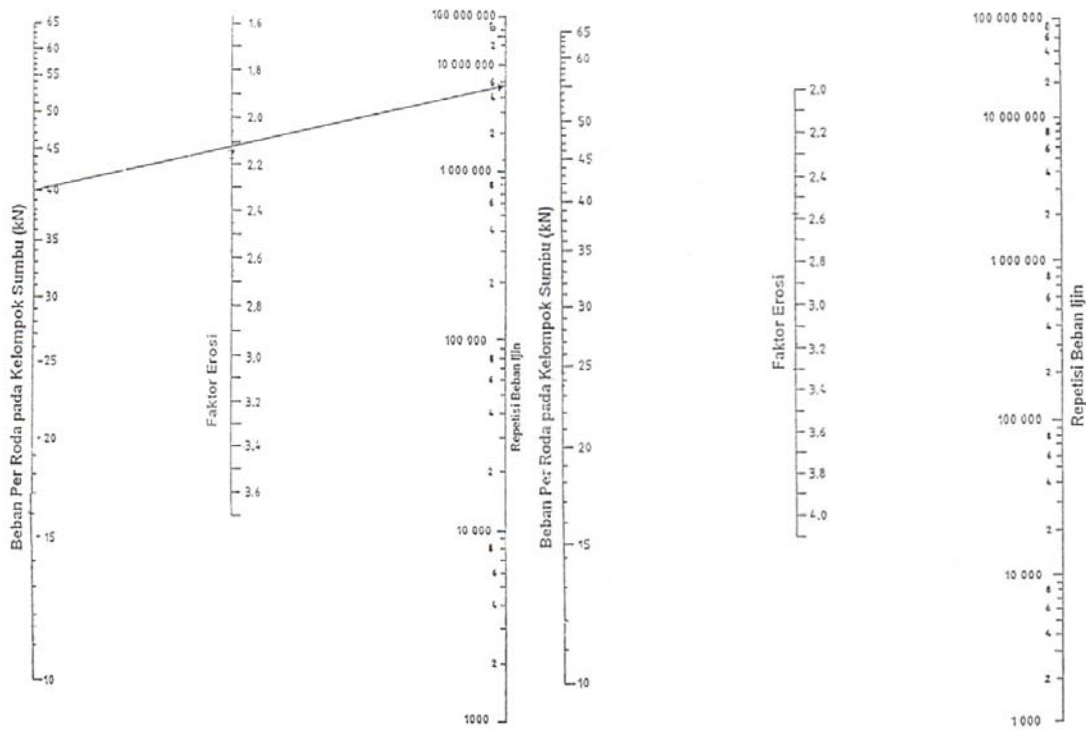
Tabel 2.2 Faktor Keamanan Beban FK

Peranan Jalan	Faktor Keamanan
Jalan Tol	1,20
Jalan Arteri	1,10
Jalan Kolektor	1,00
Jalan Lokal	1,00

Sumber : SKBI 2.3.28.1988



Gambar 2.7 Nomogram Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan/tanpa bahu beton



Gambar 2.8 Nomogram Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton

Gambar 2.9 Nomogram Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton

2.2.2.3 Perencanaan Penulangan dan Sambungan

Penulangan berfungsi untuk :

- Membatasi lebar retakan dan jarak retak
- Mengurangi jumlah sambungan
- Mengurangi biaya pemeliharaan

1) Penulangan pada PBS Bersambung Dengan Tulangan

Formulasi untuk menghitung luas tulangan yang dibutuhkan adalah:

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

Dimana :

A_s = luas tulangan yang dibutuhkan (mm^2/m lebar)

μ = koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan dibawahnya (Tabel 2.14)

L = jarak antara sambungan (m)

Untuk tulangan memanjang, L = panjang pelat (m)

Untuk tulangan melintang, L = lebar pelat (m)

M = berat per satuan volume plat (kg/m^3)

g = gravitasi (m/detik^2)

h = tebal plat beton (m)

f_s = kuat tarik ijin tulangan (Mpa)

A_s minimum = 0,1% x luas tampang beton yang ditinjau.

2) Penulangan pada PBS Menerus Dengan Tulangan

a) Penulangan Memanjang

Formulasi untuk menghitung luas tulangan yang dibutuhkan adalah :

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot [1,3 - (0,2 \cdot \mu)]}{f_y - (n \cdot f_{ct})}$$

Dimana:

P_s = persentase tulangan memanjang terhadap penampang beton (%)

f_{ct} = kuat tarik beton (0,4 – 0,5 fcf) (kg/cm^2)

f_y = tegangan leleh baja (kg/cm^2)

n = angka ekuivalensi antara baja dan beton E_s/E_c (dapat dilihat dari Tabel 2.3

Hubungan kuat tekan beton dan angka ekuivalen baja dan beton (n))

μ = koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan dibawahnya (Tabel 2.4)

E_s = modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm^2)

$$E_c = \text{modulus elastisitas beton} = 1485 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Tabel 2.3 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekivalen baja dan beton (n)

f'_c (kg/cm ²)	n
175 – 225	10
235 – 285	8
290 – ke atas	6

Sumber: *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkerasan Beton Semen 2002*

P_s minimum = 0,6% x luas penampang beton

Kontrol terhadap jarak retakan kritis :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b \cdot (\epsilon_s \cdot E_c - f_{ct})}$$

Dimana:

L_{cr} = jarak antar retakan teoritis, dalam (m)

p = perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton

u = perbandingan keliling terhadap luas tulangan = 4/d

f_b = tegangan lekat antara tulangan dengan beton $(1,97\sqrt{f'_c})/d$ (kg/cm²)

ϵ_s = koefisien susut beton $(400 \cdot 10^{-6})$

f_{ct} = kuat tarik beton $(0,4 - 0,5 f'_c)$ (kg/cm²)

n = angka ekivalensi antara baja dan beton E_s/E_c

E_s = modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

E_c = modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 2.4 Koefisien Gesekan Antara Pelat Beton Dengan Lapis 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 sungai	1,5
Batu pecah	1,5
Sirtu	1,2
Tanah	0,9

Sumber : *SKBI 2.3.28.1988*

Untuk menjamin agar didapat retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum, maka :

- Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar

- Perlu menggunakan tulangan ulir untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 hingga 250 cm.

Jarak antara tulangan 100 mm – 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

b) Penulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan, dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan kebutuhan tulangan memanjang.

Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut:

- Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12 mm.
- Jarak maksimum tulangan dari sumbu ke sumbu 75 cm.

2.2.3 Dasar-dasar Perencanaan Jembatan

Ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam perencanaan jembatan, aspek tersebut antara lain : lalu lintas, hidrologi, tanah, struktur bangunan jembatan, dan aspek pendukung lain.

2.2.3.1 Aspek Lalu Lintas

1) Kendaraan Rencana

Kendaraan rencana dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori:

- Kendaraan kecil (mobil penumpang)
- Kendaraan sedang (truk 3-as-tandem; bus besar 2-as)
- Kendaraan besar (truk semi trailer)

Untuk kebutuhan perancangan geometrik jalan, tiap kendaraan akan diwakili oleh satu ukuran standar kendaraan rencana.

Tabel 2.5 Dimensi Kendaraan Rencana

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

Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

2) Kecepatan Rencana

Kecepatan tertinggi menerus yang memungkinkan kendaraan-kendaraan dapat bergerak dengan aman dan nyaman.

Beberapa faktor yang mempengaruhi besar kecepatan rencana:

- Keadaan medan jalan, yang menurut Standar Perencanaan Geometri Jalan Luar Kota 1990, dapat dibedakan medan datar (kemiringan melintang rata – rata 0-9,9%); medan perbukitan (10-24,9%), dan pegunungan (> 25%)
- Klasifikasi fungsi jalan yaitu, jalan tol, arteri, kolektor, maupun lokal.
- Penggunaan daerah yaitu, luar kota dan dalam kota.

Tabel 2.6 Kecepatan Rencana menurut fungsi dan Medan Jalan untuk jalan antar kota

Fungsi Jalan	Kecepatan Rencana (Km / jam)		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997

Tabel 2.7 Kecepatan Rencana Minimum Menurut Sistem dan Fungsi Jalan

Sistem Jaringan Jalan	Kecepatan Rencana Minimum (Km/ Jam)			
	Arteri	Kolektor	Lokal	Lingkungan
Primer	60	40	20	15
Sekunder	30	20	10	10

Sumber: Draft PP RI Tentang Jalan, 2005

3) Volume Lalu Lintas

Dalam perancangan lebar jalan, harus disesuaikan dengan volume lalu lintas yang akan dilayani sampai dengan akhir umur rencananya, sehingga tetap aman, nyaman, dan tidak boros. Semakin besar volume lalu lintas yang lewat, penampang jalan makin lebar agar kapasitas untuk menampung volume kendaraan tercukupi, sehingga tetap nyaman.

Dalam mendesain lebar jalan, volume lalu lintas yang dibutuhkan adalah Volume Jam Perencanaan (VJP). Besar VJP dapat ditentukan :

$$\mathbf{VJP = LHRT \times faktor 'k'}$$

Ket : LHRT = Lalu Lintas Harian Rata – rata

Faktor 'k' = 10 – 15%, untuk jalan antar kota

8 – 10%, untuk jalan luar kota

4) Kelas Jalan

Besarnya arus lalu lintas yang ada sangat mempengaruhi lebar efektif jembatan. Dalam PPGJR no. 13 tahun 1970, klasifikasi dan fungsi jalan dibedakan seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.8 Klasifikasi dan Fungsi Jalan

No.	Klasifikasi fungsi	Kelas	LHR (smp)
1	Utama	I	> 20.000
2	Sekunder	IIA	6.000 – 20.000
		IIB	1.500 – 8.000
		IIC	< 2.000
3	Penghubung	III	-

Sumber: PPGJR no. 13 tahun 1970

5) Kapasitas Jalan

Besar kapasitas jalan dipengaruhi beberapa faktor :

- Lebar jalan
- Besar hambatan samping
- Persentase arah kendaraan
- Jumlah penduduk kota

Kapasitas jalan dapat ditetapkan dengan formula :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp}$$

Ket : C_o = Kapasitas dasar

FC_w = faktor penyesuaian akibat lebar jalan

FC_{sf} = faktor penyesuaian akibat side friction

FC_{sp} = faktor penyesuaian akibat persentase arah

Tabel 2.9 Besarnya Kapasitas Dasar (C_o) untuk type jalan datar

Tipe Jalan	Kapasitas Dasar (smp/jam)	Catatan
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	1900	Per lajur
Empat lajur tak terbagi	1700	Per lajur
Dua lajur tak terbagi	3100	Total dua lajur

Sumber : MKJI 1997

Tabel 2.10 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Lebar Jalan (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar Lajur Lalu Lintas Efektif W_c (m)	FC_w
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua lajur tak terbagi	Total lajur	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Sumber : MKJI 1997

Tabel 2.11 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Hambatan Samping (FC_{sf})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	FC_{sf}			
		Lebar Bahu Efektif W_s			
		$\leq 0,50$	1,00	1,50	$\geq 2,00$
4/2 D	Sangat Rendah	0,96	0,98	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,88	0,92	0,95	0,98
	Sangat Tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96
2/2 UD atau Jalan Satu Arah	Sangat Rendah	0,94	0,96	0,99	1,01
	Rendah	0,92	0,94	0,97	1,00
	Sedang	0,89	0,92	0,95	0,98
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat Tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91
4/2 UD	Sangat Rendah	0,94	0,96	0,99	1,01
	Rendah	0,92	0,94	0,97	1,00
	Sedang	0,89	0,92	0,95	0,98
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat Tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber : MKJI 1997

Tabel 2.12 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Prosentase Arah (FC_{sp})

Pemisah Arah SP % - %	50 -50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30	
FC_{sp}	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,95

Sumber : MKJI 1997

6) Kinerja Lalu Lintas

Kinerja lalu lintas dapat dilihat dari nilai derajat kejenuhan-nya (DS). Makin kecil nilai DS, menunjukkan kinerja lalu lintas di jalan tersebut baik dan pengemudi akan merasa nyaman. Nilai DS didapatkan melalui rumus :

$$DS = Q / C$$

Ket : Q = Volume lalu lintas yang lewat

C = kapasitas jalan rencana

7) Lebar Lajur

Besarnya lebar lajur pada suatu jalan berbeda – beda. Lebar jalur dapat ditentukan berdasarkan fungsi dan kelas jalannya

Tabel 2.13 Tabel Lebar Lajur Jalan Ideal

Fungsi	Kelas	Lebar lajur Ideal (m)
Arteri	I, II, III A	3.75 ; 3.50
Kolektor	III A, III B	3.00
Lokal	III C	3.00

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

Lebar jalur sebenarnya sudah dapat ditentukan dengan tabel diatas, namun pada kenyataannya, ada faktor – faktor tertentu yang menyebabkan angka pada tabel tersebut dapat berubah. Faktor tersebut diantaranya :

a) LHR Dominan

Dalam menetapkan lebar lajur, harus dilihat juga LHR dominan yang akan melewati jalan tersebut. Jika didominasi oleh kendaraan besar, maka lebar lajur dapat ditambah demi kenyamanan pengguna jalan.

b) Kecepatan Rencana

Kecepatan Rencana yang lebih tinggi juga memerlukan lebar lajur yang lebih besar. Hal ini dimaksudkan agar kendaraan – kendaraan dapat bergerak dengan aman dan nyaman dalam kecepatan tinggi.

c) Hambatan Samping

Hambatan Samping merupakan ‘gangguan’ pada sisi / tepi jalan yang biasanya disebabkan oleh pejalan kaki, sepeda, atau kendaraan yang sedang diparkir diatas bahu jalan, atau kendaraan yang muncul mendadak menyeberang jalan. Jika suatu jalan memiliki hambatan samping yang besar, maka lebar jalan yang diperlukan makin besar.

d) Derajat Kejenuhan

Nilai dari Derajat Kejenuhan (DS) hendaknya dibuat sekecil mungkin, sebisa mungkin diusahakan agar nilai DS tidak > 0.75 . Agar mendapatkan nilai DS yang sekecil mungkin, diperlukan nilai kapasitas (C) yang besar, karena DS merupakan hasil bagi dari arus total (Q) dan kapasitas (C).

Besar kapasitas ditentukan oleh kapasitas dasar dan beberapa faktor penyesuaian, salah satunya adalah ‘faktor penyesuaian lebar lajur lalu lintas (FCw)’. Untuk mendapatkan nilai C yang semakin besar, diperlukan nilai FCw yang semakin besar pula. Besarnya FCw ditentukan oleh lebar lajur suatu jalan. Jika jalan makin lebar, maka nilai FCw makin tinggi, sehingga nilai C makin besar, dan didapat nilai DS yang makin kecil (< 0.75).

e) Topografi

Kondisi medan / topografi mempengaruhi besar kecepatan rencana (Tabel 2.2). Medan yang lebih datar memiliki nilai kecepatan rencana lebih tinggi daripada medan berbukit / pegunungan, sehingga lebar lajur yang dibutuhkan juga makin besar.

8) Lebar bahu jalan

Fungsi utama bahu jalan adalah melindungi bagian utama jalan, berfungsi sebagai tempat parkir, menyediakan ruang bebas samping bagi lalu lintas, meningkatkan jarak pandang pada tikungan, dan berfungsi sebagai trotoar (jika trotoar belum tersedia).

Bahu jalan yang sempit dapat meningkatkan gangguan dari sisi jalan dan mengganggu kapasitas jalan. Lebar bahu jalan harus memenuhi lebar minimum mutlak seperti dalam tabel berikut.

Tabel 2.14 Lebar Bahu Jalan (m)

Kelas Jalan	1 & 1*	2 & 2*	3 & 3*	4 & 4*	5 & 5*
Lebar min mutlak bahu jalan	1.25	1.00	0.75	0.75	0.75
Lebar bahu jalan yang diinginkan	3.00	2.50	2.50	2.50	1.50

Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997

Pada umumnya lebar bahu jalan mempunyai nilai sama seperti diatas, namun *jika ada trotoar* di samping bahu jalan maka bahu jalan dapat dipersempit sampai 0.5 m

2.2.3.2 Aspek Hidrologi

Data–data hidrologi yang diperlukan dalam merencanakan suatu jembatan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Peta topografi DAS
2. Peta situasi dimana jembatan akan dibangun

3. Data curah hujan dari stasiun pemantau terdekat
4. Data penampang sungai

Data-data tersebut nantinya dibutuhkan untuk menentukan elevasi banjir tertinggi, kedalaman pengerusan (*scouring*) dan lain-lain. Dengan mengetahui hal tersebut kemudian dapat direncanakan *clearence* jembatan dari muka air tertinggi, bentang ekonomis jembatan, serta penentuan struktur bagian bawah.

Analisa dari data-data hidrologi yang tersedia meliputi :

1) Analisa Frekuensi Curah Hujan

Berdasarkan beberapa data curah hujan yang ada, maka perlu ditentukan kemungkinan curah hujan maksimum tersebut untuk menentukan debit banjir rencana. Dalam penentuan curah hujan yang dipakai dalam menghitung besar debit banjir rencana digunakan cara – cara sebagai berikut :

1. Menganalisa faktor-faktor yang digunakan untuk penentuan jenis sebaran.

Untuk menentukan jenis sebaran diperlukan faktor-faktor sebagai berikut :

a. Standar Deviasi

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah standar deviasi. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata – rata maka nilai S_x akan besar ,akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata – rata maka nilai S_x akan kecil.

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

Keterangan :

n = Banyaknya tahun data curah hujan yang dipakai

$(x_i - \bar{x})^2$ = Curah hujan maksimum dikurangi curah hujan rata- rata dikuadratkan.

b. Koefisien *Skewness* (C_s)

Kemencengan (*Skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*Asimetry*) demi suatu bentuk distribusi. Apabila kurva frekuensi dari kanan atau ke kiri terhadap titik pusat maksimum, maka kurva tersebut tidak akan berbentuk simetris. Apabila distribusi condong ke kanan (distribusi dengan ekor panjang ke kanan), $C_s > 0$; untuk bentuk condong ke kiri (distribusi ekor panjang ke kiri), $C_s < 0$.

Pengukuran kemencengan adalah untuk mengukur seberapa besar frekuensi dari suatu distribusi tidak simetris atau menceng. Ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{n \sum (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3}$$

Keterangan :

n = Banyaknya tahun data curah hujan yang dipakai

$(x_i - \bar{x})^3$ = Curah hujan maksimum dikurangi curah hujan rata-rata dipangkat tiga

S_x = Standart deviasi

c. Koefisien *Kurtosis* (C_k)

Pengukuran *Kurtosis* dimaksudkan untuk mengukur kemencengan dari kurva distribusi dan sebagai perbandingan adalah distribusi normal. Koefisien *Kurtosis* dirumuskan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_x^4}$$

Keterangan :

n = Banyaknya tahun data curah hujan yang dipakai

$(x_i - \bar{x})^4$ = Curah hujan maksimum dikurangi curah hujan rata-rata dipangkat empat

S_x = Standart deviasi

d. Koefisien Variasi (C_v)

Nilai Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan deviasi standar dengan rata – rata hitung dari suatu distribusi. Koefisien Variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

Keterangan :

S_x = Standart deviasi

\bar{x} = Curah hujan rata-rata

2. Pemilihan Jenis Sebaran

Dalam sebaran dikenal beberapa jenis distribusi, diantaranya yang banyak digunakan dalam analisa hidrologi adalah distribusi log normal, *Gumbel*, maupun

log Pearson III. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi yang akan digunakan sebagai berikut :

Tabel 2.15 Parameter Statistik untuk pemilihan jenis distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$
2	<i>Gumbel</i>	$Cs = 1,14$ $Ck = 5,4$
3	<i>Log Pearson III</i>	Selain nilai di atas

Sumber : *Hidrologi Terapan; 2008*

Untuk lebih meyakinkan dilakukan penggambaran pada kertas probabilitas dan diuji dengan metode *Smirnov Kolmogorov*.

3. Penggambaran pada kertas probabilitas

Penggambaran pada kertas probabilitas dilakukan berdasar data hujan dan probabilitas (Bambang Triatmodjo; 2004) untuk masing-masing tipe distribusi.

4. Penggambaran garis teoritis pada kertas probabilitas

Penggambaran garis teoritis pada kertas probabilitas diperlukan untuk mencari nilai Δ maks untuk uji *Smirnov Kolmogorov*. Nilai Δ maks merupakan jarak penyimpangan terbesar setiap titik data terhadap garis teoritis tersebut.

5. Pengujian

Setelah dilakukan penggambaran titik sebaran data dan garis teoritis masing-masing jenis distribusi pada kertas probabilitas, selanjutnya dilakukan pengujian distribusi dengan melakukan uji *Smirnov Kolmogorov*.

Dari gambar pada kertas probabilitas dicari jarak penyimpangan terbesar titik data terhadap garis teoritis. Jarak penyimpangan terbesar tersebut sebagai Δ_{maks} . Nilai Δ_{maks} harus lebih kecil dari nilai Δ_{kritis} . Distribusi terbaik adalah yang memberikan nilai Δ_{maks} terkecil.

Tabel 2.16 Harga Kritis *Smirnov-Kolmogorov*

n	α			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24

n	α			
	0.2	0.1	0.05	0.01
50	0.15	0.17	0.19	0.23
>50	$1.07/n^{0.5}$	$1.22/n^{0.5}$	$1.36/n^{0.5}$	$1.63/n^{0.5}$

Sumber : Soewarno 1995

2) Analisis Curah Hujan Rencana

Setelah dilakukan uji *Smirnov Kolmogorov*, selanjutnya didapat jenis distribusi untuk mencari curah hujan rencana. Dalam studi pustaka ini akan diuraikan analisis curah hujan rencana metode *Gumbel*.

- Curah hujan rata-rata:

$$X_r = \frac{\sum x}{n}$$

- Standart Deviasi:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_r)^2}{(n-1)}}$$

- Faktor frekuensi *Gumbel*

$$K_r = 0,78 \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right] \right\} - 0,45$$

- Curah Hujan Rencana:

$$R = X_r + (K_r * S_x)$$

3) Analisa Banjir Rencana

Setelah diperoleh curah hujan rencana, selanjutnya dihitung debit banjir rencana. Berdasarkan buku Drainase Perkotaan (Gunadharna; 1997), besar debit banjir rencana dihitung dengan metode rasional untuk luasan DAS < 80 ha. Untuk daerah antara 80 – 5000 ha, digunakan metode rasional yang diubah. Sedangkan untuk daerah > 5000 ha, digunakan analisis hidrograf satuan.

Dalam tugas akhir ini, luas DAS berada antara range 80 – 5000 ha (2200 ha), jadi analisis banjir rencana menggunakan metode rasional yang diubah. Beberapa metode yang dapat digunakan antara lain metode *Haspers*, *Weduwen*, dan *Melchior*. Metode yang digunakan untuk analisis banjir rencana dalam tugas akhir ini adalah metode *Haspers*, karena metode ini lebih sering digunakan dan membagi intensitas hujan menjadi 3 golongan, sehingga nilai yang dihasilkan lebih mendekati keadaan sebenarnya.

- Koefisien *runoff* (α) : merupakan perbandingan antara curah hujan dengan aliran permukaan yang terjadi.

$$\alpha = \frac{1+0.012*A^{0.7}}{1+0.075*A^{0.7}}$$

ket: A = luas DAS (km²)

- Waktu konsentrasi (t) : durasi hujan maksimum yang menyebabkan debit maks.

$$t = 0.1 \times L^{0.8} \times i^{-0.3}$$

ket: L = panjang aliran sungai (km)

I = kemiringan dasar saluran

- Koefisien reduksi (β) : koefisien yang diperlukan untuk mendapatkan hujan rata-rata dari hujan maksimum.

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3.7 \cdot 10^{-4} \cdot t}{t^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

ket: t = waktu konsentrasi (jam)

A = luas DAS (km²)

- Nilai hujan selama waktu t (Rt) :

- Untuk t < 2 jam

$$R_t = \frac{t \times R_{24}}{t + 1 - 0,0008(260 - R_{24})(2 - t)^2}$$

- Untuk t antara 2-19 jam

$$R_t = \frac{t \times R_{24}}{t + 1}$$

- Untuk t antara 19 jam – 30 hari

$$R_t = 0,707 \times R_{24} \times \sqrt{t + 1}$$

ket: t = waktu konsentrasi (jam)

R₂₄(X₅₀) = curah hujan rencana 24 jam dengan periode ulang 50 thn (mm)

- Hujan maksimum (q) : hujan yang menyebabkan debit banjir maksimum.

$$q = \frac{Rt}{3,6 \cdot t}$$

ket: t = waktu konsentrasi (jam)

Rt = hujan selama waktu t (mm)

➤ Debit Rencana Banjir

$$Q^{50} = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A$$

Keterangan:

A = luas DAS Tenggang

β = koef reduksi Haspers

α = koef runoff

q = hujan maks

4) Analisa Kedalaman Penggerusan (*Scouring*)

Tinjauan mengenai kedalaman penggerusan ini memakai *metode Lacey* dimana kedalaman penggerusan ini dipengaruhi oleh jenis material dasar sungai.

Tabel *faktor Lacey* yang diambil dari DPU Bina Marga Propinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.17 Faktor Lempung Lacey

No.	Type of Material	Diameter (mm)	Faktor (f)
1	Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,4
2	Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,12	0,8
3	Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
4	Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,0
5	Pasir (<i>medium sand</i>)	0,505	1,25
6	Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,725	1,5
7	Kerikil (<i>heavy sand</i>)	0,29	2,0

Sumber : DPU Bina Marga Prop. Jateng

Kedalaman Penggerusan berdasarkan tabel yang diambil dari DPU Bina Marga Propinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut ;

Tabel 2.18 Kedalaman Penggerusan

No.	Kondisi Aliran	Penggerusan Maks.
1	Aliran lurus	1,27d
2	Aliran belok	1,5d
3	Aliran belok tajam	1,75d
4	Belokan sudut lurus	2d
5	Hidung pilar	2d

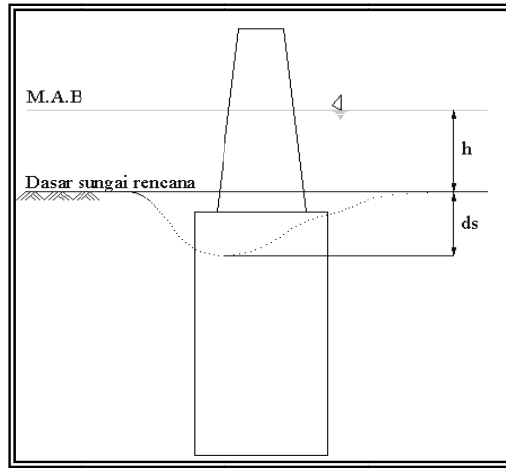
Sumber : DPU Bina Marga Prop. Jateng

Formula *Lacey* :

$$\text{Untuk } L < W \Rightarrow d = H * \left[\frac{L}{W} \right]^{0,6}$$

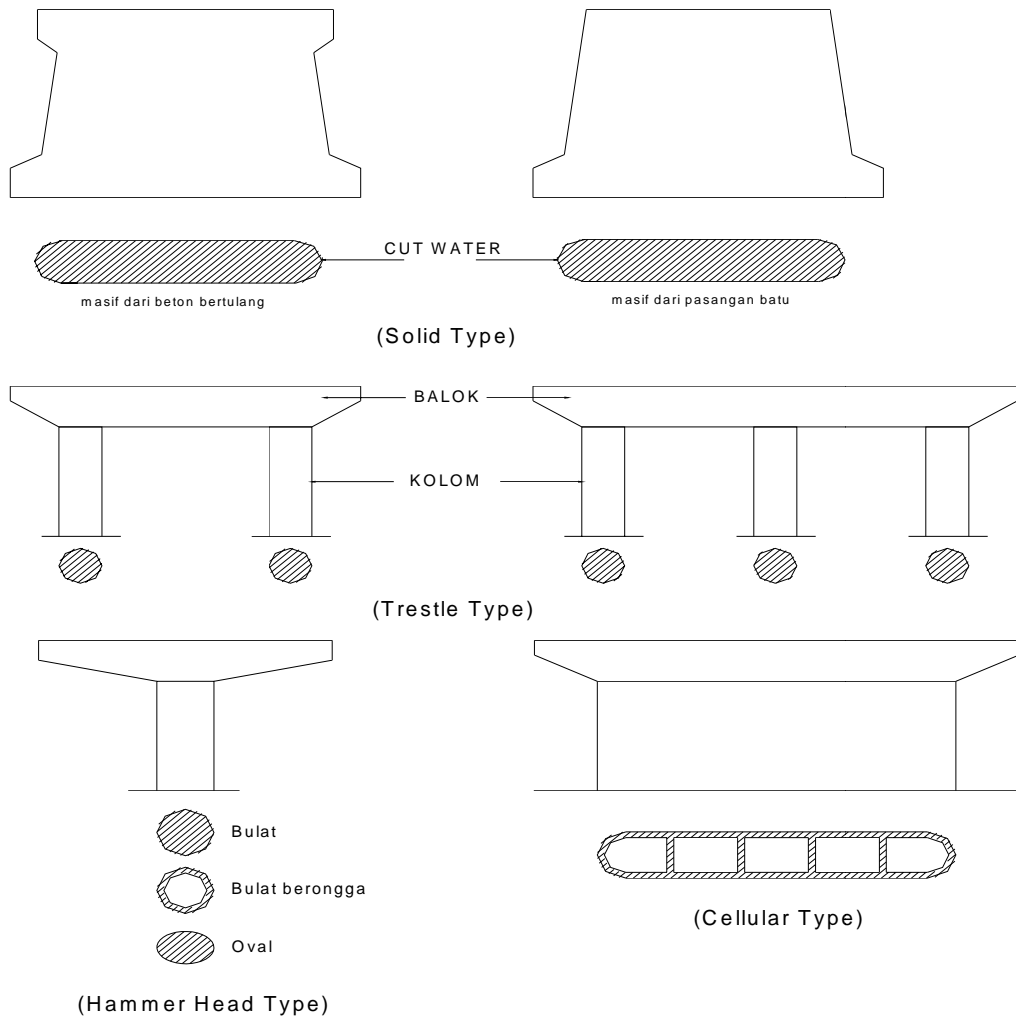
$$\text{Untuk } L > W \Rightarrow d = 0,473 \left[\frac{Q}{f} \right]^{0,333}$$

Analisa penggerusan sungai diperhitungkan untuk keamanan dari adanya gerusan aliran sungai. Penggerusan terjadi didasar sungai dibawah pilar akibat aliran sungai yang mengikis lapisan tanah dasar sungai. Syarat agar aman dari gerusan antara lain dasar pilar atau pondasi pilar harus berada dibawah bidang gerusan maksimum (ds) seperti terlihat pada berikut:



Gambar 2.10 Dalamnya Penggerusan

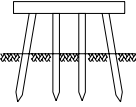
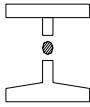
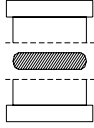
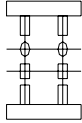
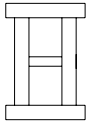
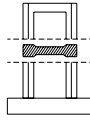
Adapun bentuk dari pilar seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.11 Bentuk Pilar

Pilar menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas pada pondasi, berikut adalah jenis pilar :

Tabel 2.19 Jenis Pilar

JENIS PILAR		TINGGI TIPIKAL (m)			
		0	10	20	30
PILAR BALOK CAP TIANG SEDERHANA - Dua baris tiang adalah umumnya minimal					
PILAR KOLOM TUNGGAL - Dianjurkan kolom sirkulasi pada aliran arus			5	15	
PILAR TEMBOK - Ujung bundar dan alinemen tembok sesuai arah aliran membantu mengurangi gaya aliran dan gerusan lokal.			5		25
PILAR PORTAL SATU TINGKAT (KOLOM GANDA ATAU MAJEMUK) - Dianjurkan kolom sirkulasi pada aliran arus. - Pemisahan kolom dengan 2D atau lebih membantu kelancaran aliran arus			5	15	
PILAR PORTAL DUA TINGKAT				15	25
PILAR TEMBOK – PENAMPANG I - Penampang ini mempunyai karakteristik tidak baik terhadap aliran arus dan dianjurkan untuk penggunaan di darat.					25

2.2.3.3 Aspek Tanah

Aspek tanah sangat menentukan terutama dalam penentuan jenis pondasi yang digunakan, kedalaman serta dimensinya dan kestabilan tanah. Penentuan ini didasarkan pada hasil sondir, boring, maupun *soil properties* pada 2 atau 3 titik *soil investigation* yang diambil di daerah letak abutment dan pilar jembatan yang direncanakan.

1) Aspek Tanah Terhadap Pondasi

Tanah harus mampu untuk menahan pondasi serta beban-beban yang dilimpaskan ke pondasi tersebut. Dalam hubungan dengan perencanaan pondasi, besaran-besaran tanah yang harus diperhitungkan adalah daya dukung tanah dan kedalaman tanah keras.

Daya dukung tanah diperlukan untuk mengetahui kemampuan tanah menahan beban di atasnya. Perhitungan daya dukung didapatkan melalui serangkaian proses matematis. Daya dukung tanah yang telah diperhitungkan harus lebih besar dari beban ultimate yang telah diperhitungkan terhadap faktor keamanannya.

Dalam perencanaan pondasi dilakukan serangkaian tes untuk menentukan jenis pondasi yang digunakan, antara lain tes sondir untuk mengetahui kedalaman tanah keras dan tes bor untuk mengetahui jenis tanah dan *soil properties*.

2) Aspek Tanah Terhadap Abutment

Dalam perencanaan abutment jembatan data-data tanah yang dibutuhkan berupa data-data sudut geser, kohesi dan berat jenis tanah yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah horizontal juga gaya akibat berat tanah yang bekerja pada abutment, serta daya dukung tanah yang merupakan reaksi tanah dalam menyalurkan beban dari abutment.

Tekanan tanah dihitung dari data *soil properties* yang ada. Dalam menentukan tekanan tanah yang bekerja dapat ditentukan dengan cara analitis/grafis. Gaya berat dari tanah ditentukan dengan menghitung volume tanah diatas abutment dikalikan dengan berat jenis dari tanah itu sendiri.

3) Aspek Tanah Terhadap Dinding Penahan

Pada prinsipnya, secara umum aspek tanah dalam dinding penahan tanah untuk menghitung tekanan tanah baik aktif/pasif adalah sama dengan aspek tanah pada abutment.

2.2.3.4 Aspek Konstruksi Bangunan Jembatan

a. Penentuan Tipe Jembatan

Pemakaian tipe jembatan biasanya didasarkan pada panjang bentang yang dipakai. Pada Tabel 2.16 disajikan bentang jembatan yang mungkin dipakai meskipun tidak mutlak harus seperti tersebut namun akan membantu dalam pemilihan tipe jembatan yang akan dibangun.

Pemilihan tipe bangunan atas jembatan dipengaruhi oleh : bentang jembatan, kedalaman sungai, teknologi, kemudahan pelaksanaan, waktu serta biaya pelaksanaan, keawetan konstruksi dan estetika.

Tabel 2.20 Penentuan tipe jembatan

Tipe Jembatan	Bentang Optimum yang Ekonomis (meter)
Beton Bertulang	30 – 50
Beton pratekan berupa balok di atas 2 tumpuan	20 – 50
Beton pratekan dengan gelagar utama berupa balok diatas beberapa tumpuan.	50 – 850
Beton pratekan dengan gelagar utama berupa balok segmental dengan postension prestressing.	80 – 300
Beton pratekan gelagar utama berupa konstruksi busur	100 – 300
Konstruksi baja berupa balok di atas 2 tumpuan	Sampai 30
Konstruksi utama berupa rangka baja	40 – 300
Konstruksi utama berupa busur rangka baja	200 – 500
Cable stayed bridge	200 – 500
Suspension bridge	Diatas 500

Sumber : Buku referensi untuk kontraktor, PT.PP

Tabel 2.21 Tipikal Konfigurasi Bangunan Atas

No	Jenis Bangunan Atas	Variasi Panjang	Perbandingan H/L Tipikal (Tinggi / Bentang)
1.	Bangunan Atas Kayu		
a).	Jembatan balok dengan lantai urug atau lantai papan.	5 – 20 m	1 / 15
b).	Gelagar kayu gergaji dengan lantai papan.	5 – 10 m	1 / 5
c).	Gelagar komposit kayu baja gergaji dengan lantai papan.	8 – 12 m	1 / 5
d).	Rangka lantai bawah dengan papan kayu	20 – 50 m	1 / 6
e).	Rangka lantai atas dengan papan kayu.	20 – 50 m	1 / 5
f).	Gelagar baja dengan lantai papan kayu.	5 – 35 m	1 / 17 – 1 / 30
2.	Bangunan Atas Baja		
a).	Gelagar baja dengan pelat lantai baja.	5 – 25 m	1 / 25 – 1 / 27
b).	Gelagar baja dengan lantai beton komposit. - Bentang sederhana - Bentang menerus	15 – 50 m 35 – 90 m	1 / 20
c).	Gelagar <i>box</i> baja dengan lantai beton komposit. - Bentang sederhana - Bentang menerus	30 – 60 m 40 – 90 m	1 / 20
d).	Rangka lantai bawah dengan pelat beton	30-100 m	1 / 8 – 1 / 11
e).	Rangka lantai atas dengan pelat beton komposit	30-100 m	1/11 – 1 / 15
f).	Rangka menerus	60-150 m	1 / 10

3.	Jembatan Beton Bertulang		
a).	Pelat beton bertulang	5 – 10 m	1 / 12,5
b).	Pelat berongga	10 – 18 m	1 / 18
c).	Kanal pracetak	5 – 13 m	1 / 15
d).	Gelagar beton “ T “	6 – 25 m	1 / 12 – 1 / 15
e).	Gelagar beton <i>box</i>	12 – 30 m	1 / 12 – 1 / 15
f).	Lengkung beton (bentuk parabola)	30 – 70 m	1 / 30 rata - rata
4.	Jembatan Beton Prategang		
a).	Segmen pelat	6 – 12 m	1 / 20
b).	Segmen pelat berongga	6 – 16 m	1 / 20
c).	Segmen berongga komposit dengan lantai beton. - Rongga tunggal - <i>Box</i> berongga	8 – 14 m 16 – 20 m	1 / 18
d).	Gelagar I dengan lantai komposit dalam bentang sederhana : - Pra penegangan - Pasca penegangan - Pra + Pasca penegangan	12 – 35 m 18 – 35 m 18 – 25 m	1 / 15 – 1 / 16,5
e).	Gelagar I dengan lantai beton komposit dalam bentang menerus.	20 – 40 m	1 / 17,5
f).	Gelagar I pra penegangan dengan lantai komposit dalam bentang tunggal	16 – 25 m	1 / 15 – 1 / 16,5
g).	Gelagar T pasca penegangan.	20 – 45 m	1 / 16,5 - 1 / 17,5
h).	Gelagar <i>box</i> pasca penegangan dengan lantai komposit.	18 – 40 m	1 / 15 – 1 / 16,5
i).	Gelagar <i>box monolit</i> dalam bentang sederhana.	20 – 50 m	1 / 17,5
j).	Gelagar <i>box</i> menerus, pelaksanaan kantilever	6 – 150 m	1 / 18 – 1 / 20

Sumber : *Perencanaan Jembatan, Ir. Bambang Pudjiyanto, MT. dan Ir. Mughtar Hadiwidodo.*

b. Syarat Ruang Bebas Jembatan

Yang dimaksud dengan ruang bebas jembatan adalah tinggi dan lebar ruang bebas jembatan dengan ketentuan :

- 1) Tinggi minimum untuk jembatan tertutup 5 meter.
- 2) Lebar minimum untuk jembatan ditetapkan menurut jumlah jalur lalu lintas ditambah dengan kebebasan samping minimum 2 x 0,5 meter.
- 3) Tinggi bebas minimum terhadap banjir 50 tahunan ditetapkan sebesar ± 1 meter. Untuk sungai- sungai yang mempunyai karakteristik khusus, tinggi bebas disesuaikan dengan keperluan berdasarkan penelitian lebih lanjut.

c. Konsep Pembebanan (Loading Concept)

Perhitungan pembebanan jembatan direncanakan dengan menggunakan aturan yang terdapat pada Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan 1992 (BMS/ *Bridge Manajemen System*) Bagian 2 tentang *Design Methodology* dan dilengkapi dengan RSNI T-02-2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan.

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Penggunaan pedoman ini dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis

sesuai kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

1) Beban Permanen (*Permanent Loads*)

a) Berat Sendiri

Adalah semua muatan yang berasal dari berat sendiri elemen-elemen jembatan yang ditinjau, termasuk semua unsur tambahan yang dianggap satu kesatuan dengannya.

Tabel 2.22 Berat Bahan

Bahan Jembatan	Berat Sendiri Nominal kN/m ³
Beton Massa (cor)	24
Beton Bertulang (cor)	25
Beton Bertulang atau pratekan (pracetak)	25

Sumber : BMS 1992

b) Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat semua elemen tidak struktural yang dapat bervariasi selama umur jembatan, seperti perawatan permukaan khusus, pelapisan ulang dianggap sebesar 50 mm aspal beton (dianggap normal 22 kN/m³), sandaran, pagar pengaman, tanda-tanda, serta perlengkapan umum seperti pipa air dan penyaluran.

c) Tekanan Tanah

Bagian bangunan yang menahan tanah harus direncanakan untuk dapat menahan tekanan tanah sesuai dengan ketentuan yang ada. Beban kendaraan di belakang bangunan penahan tanah (disebut sebagai tekanan tanah horisontal), diperhitungkan ekuivalen dengan muatan tanah setinggi 600 mm. Sedangkan berat tanah vertikal dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.23 Berat Tanah Vertikal

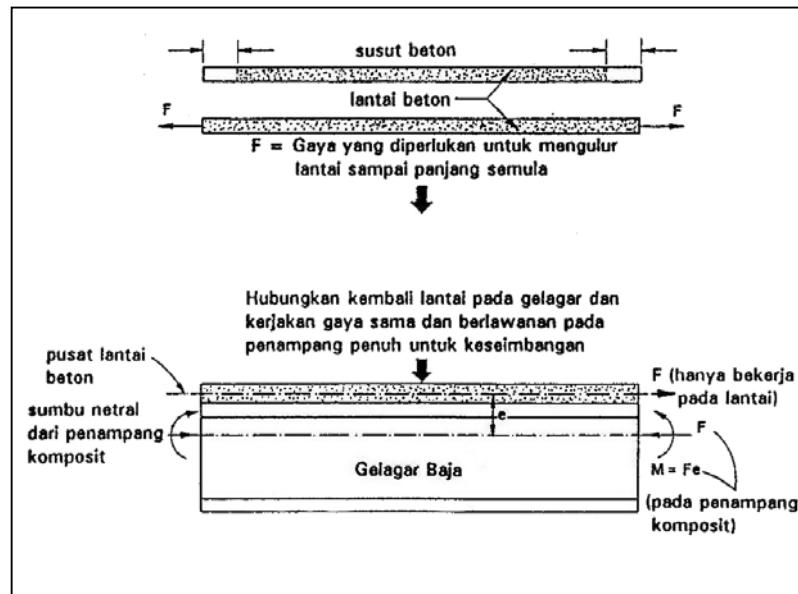
TANAH	BERAT TANAH NOMINAL
	kN/m ³
Tanah dipadatkan	
• Timbunan tanah dipadatkan	17.2
Tanah tidak kohesif	
• Kerikil lepas dengan kadar pasir	16 – 19
• Kerikil sedang padat dengan kadar pasir rendah	18 – 20
• Kerikil padat sampai sangat padat dengan kadar pasir rendah	19 – 21
• Kerikil kepasiran lepas, gradasi baik	18 – 20
• Kerikil kelembungan kepasiran sedang padat	19 – 21
• Kerikil kelembungan kepasiran padat sampai sangat padat	21 – 22
• Pasir kasar sampai halus lepas	17 – 20
• Pasir kasar sampai halus sedang padat	20 – 21

• Pasir kasar sampai halus padat sampai sangat padat	21 – 22
• Pasir kelanauan dan halus lepas	15 – 17
• Pasir kelanauan dan halus sedang padat	17 – 19
• Pasir kelanauan dan halus padat sampai sangat padat	19 – 21
Tanah Kohesif	
• Lempung plastis lembek	16 – 19
• Lempung plastis teguh	17.5 – 20
• Lempung plastis kenyal	18 - 21
• Lempung lembek agak plastis	17 - 20
• Lempung teguh agak plastis	18 - 21
• Lempung kenyal agak plastis	21 - 22
• Lempung kenyal sampai keras glasial	20 - 23
• Lempung organik	14 - 17
• gambut	10.5 - 14
catatan: untuk bahan dengan variasi nilai diambil nilai paling kritikal dari batas variasi yang dipertimbangkan.	

Sumber : BMS 1992

d) Susut dan Rangkak

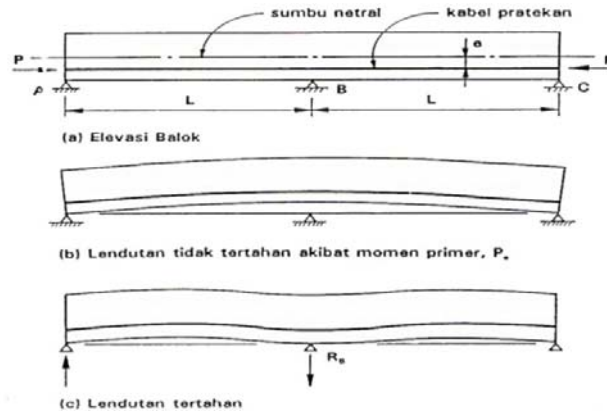
Susut dan rangkak menyebabkan momen, geser dan reaksi ke dalam komponen tertahan. Pada U.L.S. penyebab gaya-gaya tersebut umumnya diperkecil dengan retakan beton dan baja leleh. Untuk alasan ini, beban faktor U.L.S. yang digunakan 1,0.



Gambar 2.12 Gaya Ekuivalen akibat susut pada penampang komposit

e) Pengaruh Pratekan

Selain dari pengaruh primer, pratekan menyebabkan pengaruh sekunder dalam komponen tertahan dan struktur tidak tertentu.



Gambar 2.13 Pengaruh pratekan

Cara yang berguna untuk penentuan pengaruh penuh dari pratekan dalam struktur statis tidak tertentu adalah cara beban ekuivalen dimana gaya tambahan beton akibat kabel pratekan dipertimbangkan sebagai beban luar.

Beban total ekuivalen mencakup beban tambahan pada beton di jangkar kabel yaitu pratekan aksial dan gaya geser yang dihasilkan oleh kabel yang landai dan momen akibat jangkar yang ditempatkan eksentris.

2) Beban Lalu Lintas (*Traffic Loads*)

a) Beban kendaraan rencana

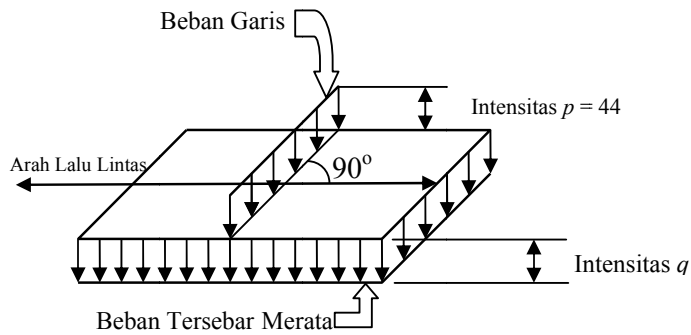
Beban lalu lintas untuk Rencana Jembatan Jalan Raya terdiri dari pembebanan lajur “D” dan pembebanan truk “T”.

Pembebanan lajur “D” ditempatkan melintang pada lebar penuh dari jalan kendaraan jembatan dan menghasilkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya. Jumlah total lajur “D” yang ditempatkan tergantung pada lebar jalan kendaraan jembatan.

Pembebanan truk “T” adalah kendaraan berat tunggal dengan tiga gandar yang ditempatkan dalam kedudukan sembarang pada jalur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksud agar mewakili pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” boleh ditempatkan per lajur lalu lintas rencana. Umumnya pembebanan “D” akan menentukan untuk bentang sedang sampai panjang, dan pembebanan “T” akan menentukan untuk bentang pendek dan sistem lantai.

b) Beban lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata yang digabung dengan beban garis, seperti terlihat dalam gambar berikut:



Gambar 2.14 Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari:

- 1) Beban terbagi rata/ *“a uniformly distributed load”* (UDL) dengan intensitas “q” kPa, dengan “q” tergantung pada panjang yang dibebani total (L) sbb:

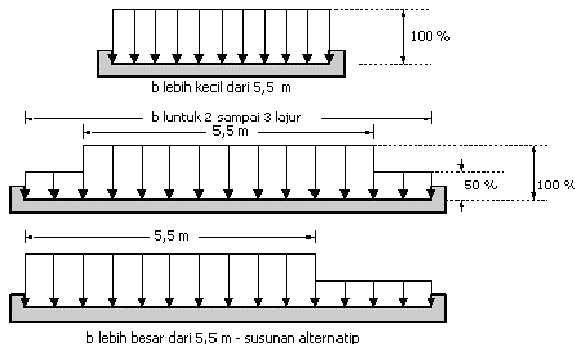
$$L \leq 30 \text{ m} \quad q = 8 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} \quad q = 8 * (0.5 + \frac{L-30}{L}) \text{ kPa}$$

Ketentuan penggunaan beban “D” dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- a) Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100 %) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- b) Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100%) dibebankan pada lebar jalur 5,50 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban “D” (50%).

Beban Lajur “D” ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas.



Gambar 2.15 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

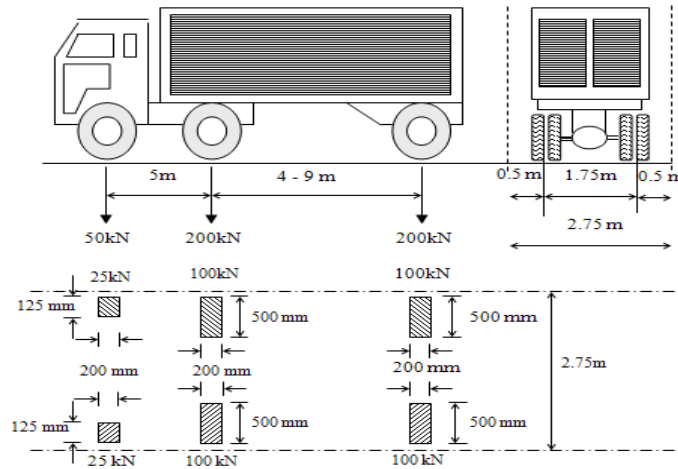
2) Beban garis/ *knife edge load* (KEL) sebesar p kN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. ($P = 44,0$ kN/m)

Pada bentang menerus, KEL ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada dua (2) bentang agar momen lentur negatif pada maksimum.

c) Beban truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada gambar berikut. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Secara skematis, beban Truk “T” dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.16 Beban Truk “T”

Hanya satu truk harus ditempatkan dalam tiap jalur lalu lintas rencana untuk panjang penuh dari jembatan. Truk “T” harus ditempatkan di tengah jalur lalu lintas. Jumlah maksimum jalur lalu lintas rencana sebagai berikut:

Tabel 2.24 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Jenis Jembatan	Lebar Jalan Kendaraan Jembatan (m)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana
Lajur Tunggal	4,00 – 5,00	1
Dua Arah, tanpa Median	5,50 – 8,25	2
	11,25 – 15,00	4
Jalan Kendaraan Majemuk	10,00 – 12,90	3
	11,25 – 15,00	4
	15,10 – 18,75	5
	18,80 – 22,50	6

Sumber : BMS 1992

d) Faktor Beban Dinamik

Faktor Beban Dinamik/ *Dynamic Load Allowance* berlaku pada “KEL” lajur “D” dan Truk “T” untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan.

Untuk Truk “T”, nilai DLA adalah 0,3. Untuk “KEL” nilai DLA diberikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.25 Faktor Beban Dinamik untuk “KEL” Lajur “D”

Bentang Ekuivalen Le (m)	DLA (untuk kedua keadaan batas)
$LE \leq 50$	0,4
$50 < LE \leq 90$	$0,525 - 0,0025 LE$
$LE \geq 90$	0,3

Catatan:

1. Untuk bentang sederhana $LE =$ panjang bentang aktual
2. Untuk bentang menerus $LE = \sqrt{(L_{rata-rata} * L_{maks})}$
Dengan:
 $L_{rata-rata}$ = panjang bentang rata-rata dari bentang-bentang menerus
 L_{maks} = panjang bentang maksimum dari bentang-bentang menerus

Sumber : BMS 1992

e) Gaya Rem

Pengaruh gaya rem harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang. Gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan.

Tabel 2.26 Gaya Rem

Panjang Struktur (m)	Gaya Rem S.L.S. (kN)
$L \leq 80$	250
$80 < L < 180$	$2,5 L + 50$
$L \geq 180$	500

Catatan: Gaya Rem U.L.S. adalah 2,0 gaya rem S.L.S.

Sumber : BMS 1992

f) Beban pejalan kaki

Intensitas beban pejalan kaki untuk jembatan jalan raya tergantung pada luas beban yang dipikul oleh unsur yang direncana. Bagaimanapun, lantai dan gelagar yang langsung memikul beban pejalan kaki harus direncanakan untuk 5 kPa. Intensitas beban untuk elemen lain diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.27 Intensitas Beban Pejalan Kaki untuk trotoar Jembatab Jalan Raya

Luas Terpikul oleh Unsur (m^2)	Intensitas beban pejalan kaki nominal kPa
$L \leq 10 m^2$	5
$10 m^2 < L < 100 m^2$	$5,33 - A/30$
$L \geq 100 m^2$	2

Bila kendaraan tidak dicegah naik ke kerb oleh penghalang rencana, trotoar juga harus direncanakan agar menahan beban terpusat 20 kN.

Sumber : BMS 1992

g) Beban tumbuk pada penyangga jembatan

Penyangga jembatan dalam daerah lalu lintas harus direncanakan agar menahan tumbukan sesaat atau dilengkapi dengan penghalang pengaman yang khusus direncanakan.

Tumbukan kendaraan diambil sebagai beban statis S.L.S. sebesar 1000 kN pada 10° terhadap garis pusat jalan pada tinggi sebesar 1,8 m.

3) Beban Lingkungan (*Environmental Loads*)

a) Beban Angin

Gaya angin pada bangunan atas tergantung pada luas ekuivalen, diambil sebagai luas padat jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus. Untuk jembatan rangka ini diambil 30% luas yang dibatasi oleh unsur rangka terluar.

Tekanan angin Rencana (kPa), diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.28 Tekanan Angin Merata pada Bangunan Atas

Perbandingan lebar/tinggi	Jenis keadaan batas	Tekanan Angin kPa	
		PANTAI (dalam batas 5 km dari pantai)	LUAR PANTAI (lebih dari 5 km terhadap pantai)
$b/d \leq 1,0$	S.L.S.	1,13	0,79
	U.L.S.	1,85	1,36
$1,0 < b/d \leq 2,0$	S.L.S.	$1,46 - 0,32 b/d$	$1,01 - 0,23 b/d$
	U.L.S.	$2,38 - 0,53 b/d$	$1,75 - 0,39 b/d$
$2 < b/d \leq 6,0$	S.L.S.	$0,88 - 0,038 b/d$	$0,61 - 0,02 b/d$
	U.L.S.	$1,43 - 0,08 b/d$	$1,05 - 0,04 b/d$
$b/d > 6,0$	S.L.S.	0,68	0,47
	U.L.S.	1,10	0,81
Bangunan Atas Rangka (seluruh b/d)	S.L.S.	0,65	0,45
	U.L.S.	1,06	0,78

b = Lebar bangunan atas antara permukaan luar tembok pengaman
d = tinggi bangunan atas (termasuk tembok pengaman padat)

Sumber : BMS 1992

Tabel 2.29 Beban Garis Merata pada Ketinggian Lantai kN/m akibat angin pada beban hidup

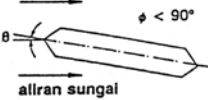


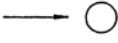
KEADAAN BATAS	BEBAN GARIS MERATA kN/m	
	PANTAI (dalam batas 5 km dari pantai)	LUAR PANTAI (lebih dari 5 km terhadap pantai)
S.L.S.	1,30	0,90
U.L.S.	2,12	1,56

Sumber : BMS 1992

b) Gaya Aliran Sungai

Gaya aliran sungai tergantung pada kecepatan rencana aliran sungai. Gaya seret dan angkat dari aliran sungai pada pilar dan bangunan atas ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 2.30 Gaya Aliran Sungai Normal

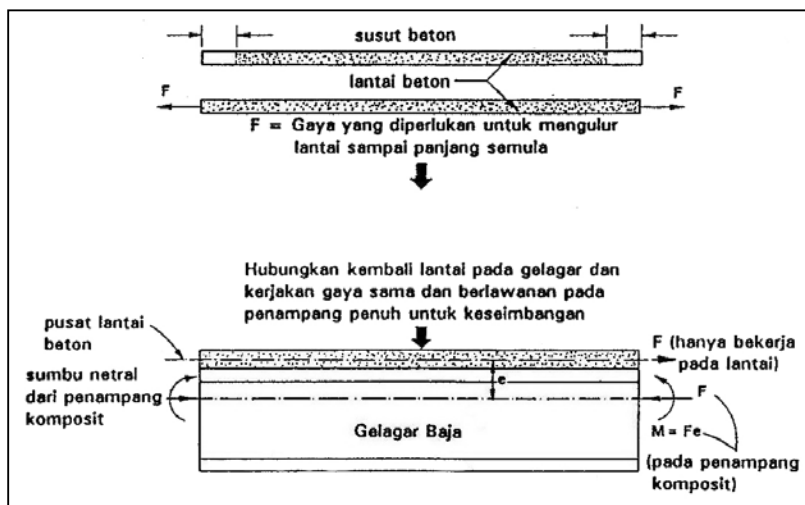
BENTUK PILAR	GAYA SERET NOMINAL kPa (dalam arah aliran) —	GAYA ANGKAT NOMINAL kPa (tegak lurus pada gaya seret)	
		θ	Gaya
	$0.40 V_a^2 A_d$	0°	tidak ada
	$0.70 V_a^2 A_d$	5°	$0.25 V_a^2 A_1$
	$0.35 V_a^2 A_d$	10°	$0.45 V_a^2 A_1$
		20°	$0.45 V_a^2 A_1$
BANGUNAN ATAS TERENDAM	$1.1 V_a^2 A_d$	$\geq 30^\circ$	$0.50 V_a^2 A_1$
	$0.35 V_a^2 A_d$	Tidak ada	
Catatan : V_a = kecepatan air rata-rata untuk keadaan batas yang ditinjau (m/detik) A_d = luas proyeksi dari pilar tegak lurus pada aliran sungai, dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran air A_1 = luas proyeksi dari pilar sejajar arah aliran, dengan tinggi sama dengan kedalam aliran air.			

Sumber : BMS 1992

c) Gaya Akibat Perubahan Suhu

Perubahan merata dalam suhu jembatan menghasilkan perpanjangan atau penyusutan seluruh panjang jembatan. Gerakan tersebut umumnya kecil di Indonesia, dan dapat diserap oleh perletakan dengan gaya cukup kecil yang disalurkan ke bangunan bawah oleh bangunan atas dengan bentang 100 meter atau kurang.

Pengaruh dari perpanjangan diferensial pada gelagar pratekan komposit/lantai beton dan gelagar baja/lantai beton, dapat diabaikan pada U.L.S.



Gambar 2.17 Gaya Ekuivalen akibat susut pada penampang komposit

d. Kombinasi Pembebanan

Bangunan jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi akibat beberapa beban dan atau gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan dari beban dan atau gaya pada setiap kombinasi, tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikan terhadap tegangan yang diijinkan. Tegangan yang digunakan, yang dinyatakan dalam prosen terhadap tegangan yang diijinkan untuk beberapa kombinasi beban / gaya, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.31 Kombinasi Pembebanan

AKSI	Kombinasi Beban					
	Ultimate					
	1	2	3	4	5	6
Aksi Tetap: Berat sendiri Beban mati tambahan Tekanan tanah	x	x	x	x	x	x
Aksi Transien: Beban lajur "D" atau beban truk "T" Gaya Rem Beban Pejalan Kaki Gesekan pada perletakan Beban Angin	x	o	o	o	o	
Aksi khusus : gempa					x	

Sumber : BMS 1992

e. Konsep Perancangan Bangunan Struktur Atas Jembatan

1) Sandaran

Sandaran berfungsi sebagai pembatas antara kendaraan dengan tepi jembatan untuk memberi rasa aman bagi pengguna jalan. Sandran terdiri dari beberapa

bagian, yaitu railing sandaran, tiang sandaran dan parapet. Berdasarkan PPJRR, beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horisontal sebesar 100 kg pada ketinggian 90 cm.

Perhitungan dimensi dan penulangan digunakan rumus beton bertulang seperti pada umumnya.

$$\text{Hitung : } M_n = \frac{Mu}{\phi} \& \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \phi * \rho * f_y * \left[1 - 0,588 * \rho * \frac{f_y}{f_c} \right]$$

Jika $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min}

Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ

Jika $\rho_{\min} \geq \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s = \rho * b * d$$

Tulangan Geser :

$$V_n = \frac{Vu}{\phi}$$

$$V_n = 1/6 \sqrt{f'_c} * b * d$$

Jika $V_u < \frac{\phi * V}{2}$, maka tidak perlu tulangan geser

Jika $V_u \geq \frac{\phi * V}{2}$, maka perlu tulangan geser

$V_u < \Phi * V_c$, maka perlu tulangan geser minimum

$$A_v = \frac{b * s}{3 * f_v}$$

2) Pelat Lantai

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan dan pembagi beban kepada gelagar utama. Pembebanan pada pelat lantai :

- a. Beban mati berupa pelat sendiri, berat perkerasan dan berat air hujan.
- b. Beban hidup seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Adapun panjang dan lebar dari pelat lantai disesuaikan dengan panjang bentang dan jarak antar gelagar utama. Perhitungan pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu : pelat lantai pada bagian tengah dan pelat lantai pada bagian tepi. Prosedur perhitungan pelat lantai adalah sebagai berikut :

1. Tebal Pelat Lantai

Tebal pelat lantai adalah sama dengan perhitungan pada beton bertulang, dengan tebal h_{\min} yang digunakan adalah = 20 cm.

2. Perhitungan Momen

- Untuk beban mati

Dicari momen terbesar pada tumpuan atau lapangan

- Untuk beban hidup

$\frac{lx}{ly} \rightarrow$ dengan Tabel Bitnerr didapat f_{xm}

$\frac{ly}{lx} = \frac{ty}{tx} \rightarrow$ dengan Tabel Bitnerr didapat f_{ym}

$$M_{xm} = f_{xm} * \frac{T}{xy} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} * \frac{T}{xy} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{x \text{ total}} = M_{\text{beban mati}} + M_{xm \text{ beban mati}}$$

$$M_{y \text{ total}} = M_{\text{beban mati}} + M_{ym \text{ beban mati}}$$

3. Perhitungan penulangan

$$\text{Hitung : } \frac{Mu}{bd^2}$$

Jika $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min}

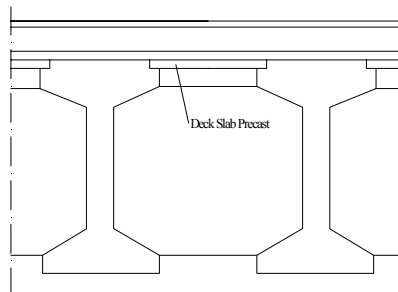
Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ

Jika $\rho_{\min} \geq \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s = \rho * b * d$$

3) Deck Slab Precast

Deck slab precast merupakan bagian dari struktur atas yang berguna sebagai lantai kerja untuk pekerjaan plat lantai jembatan dengan pengadaan secara precast karena struktur lantai jembatan adalah *cast in place*. Adapun perencanaan deck slab precast adalah seperti di bawah ini.



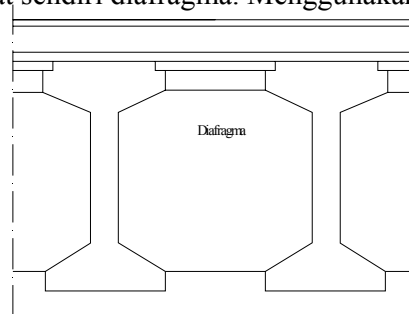
Gambar 2.18 Deck Slab Precast

Hitung : $\frac{Mu}{bd^2}$

Jika $\rho \leq \rho_{min}$, maka digunakan ρ_{min}
 Jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, maka digunakan ρ
 Jika $\rho_{min} \geq \rho_{max}$, maka digunakan ρ_{max} } $A_s = \rho * b * d$

4) Diafragma

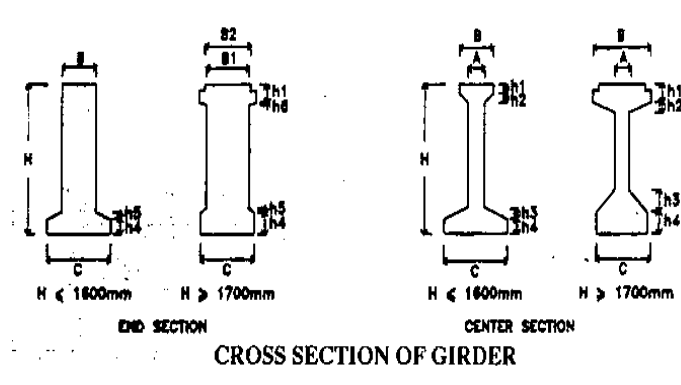
Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan konstruksi beton bertulang.



Gambar 2.19 Diafragma

5) Gelagar Utama

Gelagar utama berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk disalurkan ke pier, pondasi dan dasar tanah. Gelagar utama dapat terbuat dari beton maupun baja, tergantung hasil analisis pemilihan tipe jembatan. Pada studi pustaka ini akan diuraikan gelagar utama beton prategang.



Gambar 2.20 Penampang Girder

Tabel 2.32 Ukuran-ukuran girder

Notation	Unit	H-cm				
		90	125	160	170	210
h1	mm	75	75	124	200	200
h2	mm	75	75	75	120	120
h3	mm	100	100	100	250	250
h4	mm	125	125	225	250	250
h5	mm	62.5	62.5	21	50	50
h6	mm	-	-	-	40	40
A	mm	170	170	180	200	200
B	mm	350	350	550	800	800
B1	mm	-	-	-	600	600
B2	mm	-	-	-	640	640
C	mm	650	650	650	700	700

Sumber: Panduan Produk Bridge Girders, PT. WIJAYA KARYA BETON

Pada dasarnya beton prategang adalah suatu system dimana sebelum beban luar bekerja, diciptakan tegangan yang berlawanan tanda dengan tegangan yang nantinya akan terjadi akibat beban.

Beton prategang memberikan keuntungan-keuntungan namun juga memiliki kekurangan-kekurangan dibanding dengan konstruksi lainnya.

Keuntungan dari pemakaian beton prategang

- Terhindar retak di daerah tarik, sehingga konstruksi lebih tahan terhadap korosi dan lebih kedap.
- Penampang struktur lebih kecil/langsing, karena seluruh penampang dapat dipakai secara efektif.
- Lendutan akhir yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang.
- Dapat dibuat konstruksi dengan bentangan yang panjang.
- Untuk bentang > 30 m dapat dibuat secara segmental sehingga mudah untuk transportasi dari pabrikasi ke lokasi proyek.
- Ketahanan terhadap geser dan puntir bertambah, akibat pengaruh prategang meningkat.
- Hampir tidak memerlukan perawatan
- Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton bertulang :

- Konstruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
- Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat ereksi karena bobot dan bahaya patah getaran.

- Membutuhkan teknologi tinggi dan canggih.
- Sangat sensitif dan peka terhadap pengaruh luar.
- Biaya awal tinggi.

Adapun parameter perencanaan girder beton prategang yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

a) Sistem penegangan

Secara desain struktur beton prategang mengalami proses prategang yang dipandang sebagai berat sendiri sehingga batang mengalami lenturan seperti balok pada kondisi awal.

Cara umum penegangan beton prestress ada 2, yaitu :

- *Pre-tensioning*, yaitu stressing dilakukan pada awal/sebelum beton mengeras.
- *Post-tensioning*, yaitu stressing dilakukan pada akhir/setelah beton mengeras.

Secara umum perbedaan dari sistem penegangan diatas adalah :

1. *Pre-tensioning*:

- Tendon ditegangkan pada saat beton sebelum dicor.
- Tendon terikat pada konstruksi anker tanah.
- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton.
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau patahan.

2. *Post-tensioning* :

- Beton dicor sebelum tendon ditegangkan.
- Ada *duct* untuk penempatan tendon dalam beton.
- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui penjangkaran (*anker*).
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau parabola.

b) Tegangan yang diijinkan

• Keadaan awal

Keadaan dimana beban luar belum bekerja dan teangan yan terjadi berasal dari gaya prategang dan berat sendiri.

f_{ci} = Tegangan karakteristik beton saat awal (Mpa)

f_{ci} = Tegangan ijin tekan beton saat awal = + 0,6 . f_{ci}

f_{ti} = Tegangan ijin tarik beton saat awal = - 0,5 . $\sqrt{f'_{ci}}$

- **Keadaan akhir**

Keadaan dimana beban luar telah bekerja, serta gaya prategang bekerja untuk mengimbangi tegangan akibat beban.

f_c = Tegangan karakteristik beton saat akhir (Mpa)

f_c = Tegangan ijin tekan beton saat akhir = + 0,45 . f_c

f_t = Tegangan ijin tarik beton saat akhir = - 0,5 . $\sqrt{f'_{ci}}$

c) Perhitungan pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain : beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya sesuai dengan BMS 1992 seperti yang telah diuraikan diatas.

d) Perencanaan dimensi penampang

Dimensi penampang yang digunakan, diambil dari spesifikasi yang dikeluarkan oleh PT. WIKA BETON.

e) Perencanaan tegangan penampang

Perencanaan tegangan penampang tegangan ijin yang disyaratkan :

- **Keadaan awal**

$$F_{top} \leq f_{ti} \text{ dan } f_{bott} \leq f_{ci}$$

- **Keadaan akhir**

$$F_{top} \leq f_c \text{ dan } f_{bott} \leq f_t$$

Dengan e dan M_D pada penampang kritis :

Kondisi awal

$$f_{top} = \frac{T_i}{Ac} - \frac{T_i * e}{St} + \frac{M_D}{St} \leq -f_{ti}$$

$$f_{bott} = \frac{T_i}{Ac} - \frac{T_i * e}{Sb} + \frac{M_D}{Sb} \leq -f_{ci}$$

Kondisi akhir

$$f_{top} = \frac{R * T_i}{Ac} - \frac{R * T_i * e}{St} + \frac{M_D + M_L}{St} \leq f_c$$

$$f_{bott} = \frac{R * T_i}{Ac} - \frac{R * T_i * e}{Sb} + \frac{M_D + M_L}{Sb} \leq -f_t$$

f) Layout Tendon

Bentuk lintasan tendon adalah parabola dan untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung :

$$Y_i = \frac{4.f.X_i.(L - X_i)}{L^2}$$

Dimana :

Y_i = Ordinat tendon yang ditinjau

X_i = Absis tendon yang ditinjau

L = Panjang bentang

F = Tinggi puncak parabola maksimum

Tendon yang ada, letaknya sedemikian rupa harus berada pada lintasan inti tendon, dan tidak boleh berada diluar daerah aman penempatan tendon (batas atas dan batas bawah) dimana :

$$\text{Batas bawah} = Y_b - K_b - a_2$$

$$a_2 = \frac{M_G}{T_i}$$

Dimana :

a_2 = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah kern(k_b)

M_G = Momen akibat berat sendiri

T_i = Gaya pratekan awal

$$\text{Batas atas} = Y_b + K_b + a_1$$

$$\text{Dimana : } a_2 = \frac{M_{DL(TOTAL)}}{T_{eff}}$$

a_2 = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah kern (k_b)

M_{DL} = Momen akibat beban mati dan hidup keseluruhan

T_{eff} = Gaya pratekan efektif (R. T_i)

g) Pemilihan Tendon

Pemilihan jenis, diameter, jumlah *strands*, *angker blok* dan *duct* tendon pada beton prategang disesuaikan dengan bahan material yang ada dipasaran guna kemudahan pengadaan material, namun juga mampu menahan gaya tarik maksimum tendon guna mendapatkan Tegangan ultimit (R_1) sesuai dengan perencanaan untuk dapat mempertahankan gaya tarik tersebut.

h) Perhitungan Geser

- Pola Retak karena Gaya Lintang (*Shear Compression Failure*)

$$V_{cw} = V_{cr} * b_w * d + V_T \quad V_{cr} = (0,33\sqrt{f'c})x \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33\sqrt{f'c}}}$$

Dimana :

V_{cw} = gaya geser mengakibatkan *shear compression failure*

V_{cr} = gaya geser hancur beton prategang

f_{pc} = tegangan akibat prategang pada garis netral (kondisi akhir)

b_w = lebar badan

d = jarak dari cgs sampai serat teratas pada $h/2$

V_r = komponen vertikal dari gaya prategang akhir $T_e = \tan \alpha * T_i$

$$\tan \alpha = \frac{2 \cdot e_0}{L} \rightarrow L = \frac{h}{2}$$

E_o = eksentrisitas beton pada $h/2$

Geseran diperhitungkan (V_u) pada jarak $h/2$ dari tumpuan.

Syarat : $V_{cw} \geq V_u$ Ok

- Pola Retak akibat Kombinasi Momen Lengkung dan Gaya Lintang (*Diagonal Tension Failure*).

$V = RA - qx$ → Gaya lintang yang terjadi pada $L/4$

$M = RA * x - q * x^2$ → Momen yang terjadi pada $L/4$

Dimana : f_{pe} = tegangan pada serat bawah pada $L/4$

e = eksentrisitas tendon pada $L/4$

Momen retak akibat lentur murni :

$$M_{cr} = f_b * S_b \dots \dots \dots f_b = f_{tr} + f_{pe}$$

$$f_{tr} = 0,5 * \sqrt{f_c} \quad f_{pe} = \frac{T_i}{A} + \frac{T_i * e}{S_b}$$

Gaya geser yang menyebabkan *flexure shear cracks* :

$$V_{ci} = 0,55 \sqrt{f_c * b_w * d + \frac{V}{M} * M_{cr}}$$

Dimana: $V = V_u$

d = jarak dari cgs sampai serat teratas (mm)

$V_{ci} \geq V_u$ Penampang aman.

- *Penulangan Geser*

$$V_{max} = V_c + \sqrt{f_c} * b_w * d$$

$$V_{min} = 0,5 V_c$$

$$V = V_c + 0,4 \sqrt{f_c} * b_w * d$$

$$V = V_c + 0,35 \sqrt{f_c} * b_w * d$$

$V_c = V_{cw}$ atau V_{ci} dipilih nilai yang terbesar

$V < V_{min}$ diperlukan tulangan geser minimum

$V_{max} \geq V$ pnp cukup untuk menahan geser

i) Perhitungan Lendutan

Lendutan terjadi < lendutan ijin

$$\text{Lendutan ijin pada jembatan : } \sigma_{ijin} \leq \frac{1}{360} L$$

6) Idealisasi Perhitungan Struktur Atas Jembatan

Analisis struktural mencakup idealisasi struktur sebagai model numerik dari mana respon unsur tersendiri dan susunan keseluruhan dapat dihitung.

Idealisasi struktur yang baik adalah yang mewakili secara realistik perilaku aktual struktur dan kondisi batas pada aksi beban rencana.

Respon unsur tersendiri yang diperlukan mencakup momen lentur, geser, gaya aksial, puntir, dan reaksi perletakan serta deformasi. Respons susunan keseluruhan mencakup kemantapan terhadap geseran dan guling.

Perhitungan respons struktural dari bangunan atas dipersulit oleh interaksi rumit antara unsur dan plat lantai dan variasi kedudukan beban yang mungkin. Agar mengurangi kerumitan analisis bangunan atas, peraturan memungkinkan menggunakan cara yang disederhanakan. Cara tersebut mencakup:

1. *Respon terhadap beban mati*

Seluruh atau sebagian bangunan atas jembatan dapat dianggap sebagai balok untuk perhitungan momen dan geser memanjang. Berat sendiri lantai disebar lateral antara balok berdekatan sehingga memenuhi keseimbangan.

2. *Respon terhadap beban lalu lintas*

Akibat beban lalu lintas, menyebabkan respons internal forces pada elemen struktur berupa momen lentur dan gaya geser. Gaya dalam tersebut dapat dihitung dengan:

- Mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.
- Menyebar beban truk tunggal “T” pada balok memanjang sesuai dengan faktor dari peraturan yang diberikan dalam tabel faktor distribusi untuk pembebanan truk “T” berikut:

Tabel 2.33 Faktor Distribusi untuk Pembebanan Truk “T”

Jenis Bangunan Atas	Jembatan Jalur Tunggal	Jembatan Jalur Majemuk
Pelat lantai beton diatas balok baja I atau balok beton pratekan	S/4.2 (bila s>3.0m lihat note. 1)	S/3.4 (bila s>4.3m lihat note. 1)
Pelat lantai beton diatas balok beton bertulang T	S/4.0 (bila s>1.8m lihat note. 1)	S/3.6 (bila s>3.0m lihat note. 1)
Pelat lantai beton diatas balok kayu	S/4.8 (bila s>3.7m lihat note. 1)	S/4.2 (bila s>4.9m lihat note. 1)
Lantai papan kayu	S/2.4	S/2.2
Balok kayu	S/3.3	S/2.7
Note: 1. Dalam hal ini, beban pada tiap balok memanjang adalah reaski beban roda dengan menganggap lantai antara gelagar sebagai balok sederhana. 2. S adalah jarak rata-rata antara balok memanjang		

Sumber : BMS 1992

7) Syarat-Syarat Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Beberapa syarat yang mendasari perencanaan struktur atas adalah:

a) *Syarat Kekuatan (Strength)*

Semua elemen struktur atas harus mampu dan kuat menahan beban yang bekerja. Hal ini dapat dinyatakan dengan kontrol tegangan normal/ tegangan geser sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M}{W} \pm \frac{N}{A} \leq \sigma_{allowable} \quad \tau = \frac{D}{A} \leq \tau_{allowable}$$

b) *Syarat Kekakuan struktur (stiffness)*

Struktur harus cukup kaku pada saat menerima beban layan, sehingga nyaman digunakan. Hal ini dapat diketahui dari besarnya lendutan/deformasi struktur yang terjadi haruslah lebih kecil dari lendutan ijin.

$$\delta = \frac{1}{48} * \frac{P*L^3}{EI} + \frac{5}{384} \frac{q*L^4}{EI} \leq \delta_{allowable} \quad (\delta_a = \frac{1}{500} * L)$$

c) *Syarat Ekonomis*

Bahan material dari system stuktur harus mudah didapat di pasaran dan mudah dilaksanakan dengan biaya yang ekonomis.

d) *Syarat Estetika*

Yaitu system stuktur harus menyatu dengan lingkungan (pemandangan alam) dan indah dilihat.

f. Konsep Perancangan Bangunan Struktur Bawah Jembatan

Elemen struktur bawah pada system jembatan berupa abutmen/pilar. Struktur abutmen/pilar berfungsi menyalurkan gaya vertikal dan gaya horizontal dari bangunan atas ke pondasi. Fungsi tambahan dari abutmen adalah menyalurkan peralihan tumpuan dari timbunan tanah jalan pendekat ke pondasi.

1) Abutmen

Abutmen merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (*pier*) namun pada abutment juga terkait dengan adanya faktor tanah. Adapun langkah perencanaan abutment adalah sama dengan tahapan perencanaan pilar, namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh.

2) Footing (Pile-cap)

Footing atau *pile-cap* merupakan bangunan struktur yang berfungsi sebagai pemersatu rangkaian pondasi tiang pancang maupun *bore pile* (pondasi dalam kelompok), sehingga diharapkan bila terjadi penurunan akibat beban yang bekerja di atasnya pondasi-pondasi tersebut akan mengalami penurunan secara bersamaan dan juga dapat memperkuat daya dukung pondasi tiang dalam tersebut.

• Idealisasi Perhitungan Struktur Bawah Jembatan

Kombinasi pembebanan yang diperhitungkan dalam pengecekan stabilitas struktur bawah diambil sama dengan kombinasi pembebanan pada struktur atas, antara lain:

a) Tekanan Tanah

Bagian bangunan yang menahan tanah harus direncanakan untuk dapat menahan tekanan tanah sesuai dengan ketentuan yang ada. Beban kendaraan di belakang bangunan penahan tanah diperhitungkan senilai dengan muatan tanah setinggi 60 cm.

b) Gaya Rem

Pengaruh gaya dalam arah memanjang akibat gaya rem harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan sebagai pengaruh gaya rem, yaitu sebesar 5 % dari beban "D" tanpa koefisien kejutan yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada.

c) Gaya Gesek pada Tumpuan

Gaya gesek ditinjau akibat beban mati dikalikan dengan koefisien gesek:

$$F = 5\% \cdot \text{Beban mati}$$

d) Gaya Gempa

Pengaruh gaya gempa pada struktur sederhana dapat disimulasikan oleh suatu beban statik ekuivalen seperti diuraikan dalam panduan perencanaan *Bridge Management System 1992* volume 4.

g. Konsep Perancangan Pondasi

Pondasi berfungsi menyalurkan beban-beban dari bangunan bawah ke dalam tanah pendukung sehingga tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur secara keseluruhan. Pondasi harus dirancang dengan kekuatan dan kekakuan yang cukup sesuai dengan kondisi tanah.

Untuk perencanaan suatu pondasi jembatan dan jalan dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) dasar setempat. Penyelidikan tanah secara umum dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan cara sondir (*Dutch Cone Penetration Test*).

Uji sondir merupakan suatu sistem pengujian yang sederhana, praktis, dan memiliki beberapa kelebihan, antara lain: cepat, murah, dan menghasilkan data yang akurat dan detil. Sondir sangat cocok untuk tanah di Indonesia, karena kondisi tanah di Indonesia sebagian besar berupa lempung lanauan.

Penafsiran hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan alat sondir dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.34 Penafsiran Hasil Penyelidikan Tanah

Hasil Sondir (kg/cm ²)		Klasifikasi
qc	fs	
6	0,15 - 0,40	Humus,lempung sangat lunak
6-10	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat halus
	0,20 - 0,60	Lempung lembek kelanauan
	0,10	Kerikil lepas
10 - 30	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
	1,50	Pasir kelanauan, agak padat
30 - 60	1,00 - 3,00	Lempung kelanauan, agak kenyal
	3,00	Lempung kerikil kenyal
150 - 300	1,00 - 2,00	Pasir padat, kerikil kasar, sangat padat

Sumber : *Penetrometer and soil exploration, G.Sanglerat, 1972*

Jenis pondasi yang lazim digunakan dalam perencanaan Jembatan dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu pondasi dangkal (tapak dan sumuran), sedang pondasi dalam meliputi Pondasi tiang pancang dan *Bore Pile*.

Prosedur pemilihan tipe pondasi sebagai berikut:

- Pada lapisan tanah keras berkisar 5 meter dari permukaan air atau permukaan tanah, pondasi langsung dapat digunakan
- Apabila lapisan tanah keras berada antar 5 meter hingga 15 meter di bawah permukaan tanah, dapat digunakan pondasi beton bertulang atau beton prategang atau tiang bor.
- Apabila formasi tanah keras pada kedalaman 15-30 meter, pondasi digunakan tiang pancang atau tiang bor.

- Apabila formasi tanah keras melebihi kedalaman 30 meter, pondasi tiang pancang baja lebih sesuai digunakan.

Tabel 2.35 Dimensi Pondasi Tipikal dan Beban Rencana Keadaan Batas Ultimate

Butir	Pondasi Langsung	Sumuran	Tiang Pancang			
			Baja Tiang H	Baja Tiang Pipa	Tiang Beton Bertulang Pracetak	Tiang Beton Pratekan Pracetak
Diameter nominal (mm)	-	3000	100 x 100 Sampai 400 x 400	300 – 600	300 – 600	400 – 600
Kedalaman Maksimum (m)	5	15	Tidak terbatas	Tidak terbatas	40	60
Kedalaman Optimum (m)	0.3 – 3	7 – 9	7 – 40	7 – 40	12 – 15	18 – 30
Beban Maks ULS (kN) untuk keadaan biasa	20000+	20000+	3750	3000	1300	13000
Variasi optimum beban ULS (kN)	-	-	500 – 1500	600 – 1500	500 – 1000	500 – 5000

Sumber: BMS 1992

Pondasi Tiang Pancang

Kekuatan/stabilitas tiang pancang didasarkan pada:

- Kekuatan Bahan tiang pancang (P tiang)

$$\sigma \text{ max ijin} = 0,33 * \sigma \text{ concrete} = 0,33 * \text{ mutu beton}$$

$$\text{Luas penampang tiang pancang (A)} = \frac{1}{4} * \pi * D^2$$

$$P \text{ tiang} = A * \sigma \text{ ijin}$$

- Kekuatan Tanah (data hasil penyelidikan sondir)

- Cara Meyerhoff

$$Q_A = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = A_p * c_u * N_c$$

$$Q_s = \sum (A_s * f_s)$$

dimana:

Q_A = kapasitas aksial ultimate tiang (kg)

Q_p = daya dukung ultimate ujung tiang (kg)

Q_s = daya dukung selimut tiang (kg)

A_p = luas penampang ujung tiang

c_u = kuat geser tanah

N_c = faktor daya dukung ujung

A_s = luas selimut tiang = $p * \Delta L$

p = keliling tiang

ΔL = interval data sondir

f_s = gesekan selimut tiang (kg/cm^2)

• Cara Schmertmann-Nottingham

$$Q_A = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} * A_p$$

$$Q_s = K_c \left[\sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} * f_s * A_s + \sum_{z=8D}^L f_s * A_s \right]$$

dimana:

Q_p = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung selimut tiang

q_{c1} = nilai q_c rata-rata pada $0,7D - 4D$ di bawah ujung tiang.

q_{c2} = nilai q_c rata-rata dari ujung tiang hingga $8D$ diatas ujung tiang

A_p = luas penampang tiang

z = kedalaman yang ditinjau

D = diameter tiang

f_s = gesekan selimut satuan. Untuk tanah pasir kelanauan, $f_s = 1 \text{ kg/cm}^2$ dan untuk tanah pasir nilai $f_s = 1,2 \text{ kg/cm}^2$

K_c = faktor koreksi gesekan selimut tiang. Untuk tiang beton dengan $f_s = 1 \text{ kg/cm}^2$, $K_c = 0,5$. Jika $f_s = 1,2 \text{ kg/cm}^2$, maka $K_c = 0,4$.

A_s = luas selimut tiang = $p * \Delta L$

p = keliling tiang = $\pi * D$

ΔL = interval data sondir

• Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Aksial

Pada tanah lempung, daya dukung kelompok tiang dapat diasumsikan sebagai aksi blok kelompok tiang tersebut (Manual Pondasi Tiang).

Daya dukung dari kelompok tiang (Q_u), diambil dari nilai terkecil dari nilai-nilai berikut:

1. $Q_{u1} = m * n * (Q_p + Q_s)$

dimana : m = jumlah tiang dalam arah horizontal

n = jumlah tiang dalam arah vertikal

2. $Q_{u2} = L_g * B_g * q_p + \sum (2 * (L_g + B_g) * \Delta L * f_s)$

dimana : L_g = panjang blok

B_g = lebar blok

q_p = daya dukung ujung tiang

c. Kapasitas Lateral Tiang Pancang

$$Q_L = 36 * C_u * D^2 + 54 * \gamma * D^3$$

dimana:

Q_L = Kapasitas lateral ultimate dari tiang

C_u = Kuat geser tanah

D = diameter tiang

γ = berat jenis tanah

Untuk kelompok tiang, rencana ketahanan lateral ultimate tiang diambil sebagai nilai terkecil dari:

1. $Le = L + 2B$

dimana:

Le = luas ekivalen kelompok tiang

L = jarak antar titik pusat tiang terluar pada arah horisontal pada kelompok tiang

B = jarak antar titik pusat tiang terluar pada arah vertikal pada kelompok tiang

2. $Le_2 = 3 * D * n$

dimana:

D = diameter tiang = 50 cm

n = jumlah tiang dalam panjang ekivalen

$$= (\text{jumlah tiang arah horisontal}) + 2 * (\text{jumlah tiang arah vertikal} - 1)$$

Dari nilai Le_1 dan Le_2 , jika didapat nilai $Le_1 < Le_2$ maka kapasitas lateral ultimate dihitung untuk seluruh tiang pada kelompok tiang. Jika $Le_1 > Le_2$, maka kapasitas lateral tiang dihitung hanya untuk sebanyak 'n' tiang saja. (Manual Pondasi Tiang).

2.3 Perencanaan Anggaran Pembiayaan Konstruksi

Perhitungan Rencana anggaran biaya atau yang biasa disebut RAB, secara garis besar berisi tentang perhitungan mengenai besarnya dana (*cost*) yang harus disediakan pemilik proyek serta waktu (*time*) untuk menyelesaikan suatu proyek tertentu.

Perhitungan ini kemudian dipakai untuk mengerjakan kurva S. Perhitungan mengacu pada daftar harga Analisa Harga Satuan yang dikeluarkan oleh pihak DPU Jawa Tengah untuk wilayah Semarang dan Sekitarnya.

Perhitungan yang dibutuhkan antara lain meliputi:

1. Perhitungan volume pekerjaan.
2. Analisa harga satuan untuk item pekerjaan.
3. Rencana anggaran biaya proyek.

Tabel 2.1 Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C) Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana.....	10
Tabel 2.2 Faktor Keamanan Beban FK.....	11
Tabel 2.3 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekivalen baja dan beton (n)	14
Tabel 2.4 Koefisien Gesekan Antara Pelat Beton Dengan Lapis Pondasi dibawahnya	14
Tabel 2.5 Dimensi Kendaraan Rencana.....	15
Tabel 2.6 Kecepatan Rencana menurut fungsi dan Medan Jalan untuk jalan antar kota.....	16
Tabel 2.7 Kecepatan Rencana Minimum Menurut Sistem dan Fungsi Jalan	16
Tabel 2.8 Klasifikasi dan Fungsi Jalan	17
Tabel 2.9 Besarnya Kapasitas Dasar (Co) untuk type jalan datar.....	17
Tabel 2.10 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Lebar Jalan (FCw)	18
Tabel 2.11 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Hambatan Samping (FCsf)	18
Tabel 2.12 Besarnya Faktor Penyesuaian akibat Prosentase Arah (FCsp).....	18
Tabel 2.13 Tabel Lebar Lajur Jalan Ideal	19
Tabel 2.14 Lebar Bahu Jalan (m).....	20
Tabel 2.15 Parameter Statistik untuk pemilihan jenis distribusi.....	23
Tabel 2.16 Harga Kritis <i>Smirnov-Kolmogorov</i>	23
Tabel 2.17 Faktor Lempung <i>Lacey</i>	26
Tabel 2.18 Kedalaman Penggerusan.....	26
Tabel 2.19 Jenis Pilar.....	28
Tabel 2.20 Penentuan tipe jembatan	30
Tabel 2.21 Tipikal Konfigurasi Bangunan Atas	30
Tabel 2.22 Berat Bahan.....	32
Tabel 2.23 Berat Tanah Vertikal.....	32
Tabel 2.24 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana	36
Tabel 2.25 Faktor Beban Dinamik untuk “KEL” Lajur “D”	37
Tabel 2.26 Gaya Rem	37
Tabel 2.27 Intensitas Beban Pejalan Kaki untuk trotoar Jembatab Jalan Raya.....	37
Tabel 2.28 Tekanan Angin Merata pada Bangunan Atas	38
Tabel 2.29 Beban Garis Merata pada Ketinggian Lantai kN/m akibat angin pada beban hidup	38
Tabel 2.30 Gaya Aliran Sungai Normal	39
Tabel 2.31 Kombinasi Pembebanan	40
Tabel 2.32 Ukuran-ukuran girder	44

Tabel 2.33 Faktor Distribusi untuk Pembebanan Truk “T”	50
Tabel 2.34 Penafsiran Hasil Penyelidikan Tanah	52
Tabel 2.35 Dimensi Pondasi Tipikal dan Beban Rencana Keadaan Batas Ultimate	53

Gambar 2.1 Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen	5
Gambar 2.2 Penampang Melintang PBS Bersambung Tanpa Tulangan	5
Gambar 2.3 Penampang Melintang PBS Bersambung Dengan Tulangan.....	5
Gambar 2.4 Penampang Melintang PBS Menerus Dengan Tulangan	5
Gambar 2.5 Penampang Melintang PBS Pratekan	6
Gambar 2.6 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton (a) dan CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah (b).....	7
Gambar 2.7 Nomogram Analisis fatik dan beban repetisi ijin berdasarkan rasio tegangan, dengan/tanpa bahu beton.....	12
Gambar 2.8 Nomogram Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, tanpa bahu beton	12
Gambar 2.9 Nomogram Analisis erosi dan jumlah repetisi beban ijin berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton	12
Gambar 2.10 Dalamnya Penggerusan.....	27
Gambar 2.11 Bentuk Pilar.....	27
Gambar 2.13 Gaya Ekuivalen akibat susut pada penampang komposit	33
Gambar 2.14 Pengaruh pratekan.....	34
Gambar 2.15 Beban Lajur “D”	35
Gambar 2.16 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang.....	35
Gambar 2.17 Beban Truk “T”.....	36
Gambar 2.18 Gaya Ekuivalen akibat susut pada penampang komposit	40
Gambar 2.19 Deck Slab Precast.....	42
Gambar 2.20 Diafragma.....	43
Gambar 2.21 Penampang Girder.....	43

Table of Contents

2	BAB II	4
2.1	TINJAUAN UMUM	4
2.1.1	Trase Jalan	4
2.1.2	<i>Rigid Pavement</i> (Perkerasan Kaku)	4
2.1.3	Prestressed System.....	6
2.2	DASAR-DASAR PERENCANAAN.....	6
2.2.1	Dasar-dasar Perencanaan Trase Jalan	6
2.2.2	Dasar-dasar Perencanaan Perkerasan Beton Semen Metode Bina Marga	7
2.2.3	Dasar-dasar Perencanaan Jembatan	15
2.3	Perencanaan Anggaran Pembiayaan Konstruksi.....	55