

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

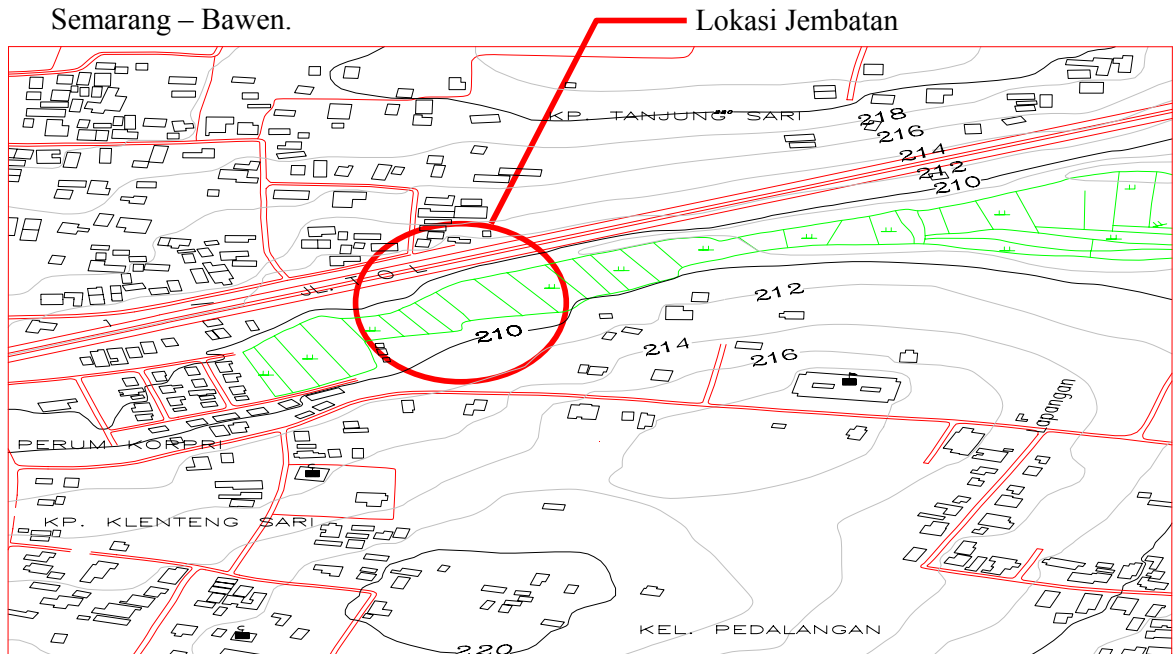
Perencanaan pada suatu proyek membutuhkan adanya kajian pustaka yang merupakan suatu pedoman untuk keperluan perencanaan. Demikian pula halnya dalam perencanaan pembangunan suatu jembatan layang, diperlukan suatu kajian pustaka guna mengatasi masalah lalu lintas pada ruas jembatan tersebut.

Hal-hal yang perlu dibahas dalam perencanaan jembatan layang adalah:

1. Peta topografi
2. Aspek lalu lintas
3. Aspek penyelidikan tanah
4. Perencanaan geometrik jembatan layang
5. Perencanaan konstruksi jembatan layang
6. Struktur perkerasan jembatan layang

2.2 PETA TOPOGRAFI

Peta topografi perencanaan jembatan layang sta 0+000 ruas jalan tol Semarang – Bawen.



Gambar 2.1. Peta Topografi

2.3 ASPEK LALU LINTAS

Dalam perencanaan, lebar jembatan sangat dipengaruhi oleh besarnya arus lalu lintas yang melintasi jembatan dengan interval waktu tertentu yang diperhitungkan terhadap Lalu lintas Harian Rata – rata (LHR) dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP). LHR merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam suatu ruas jalan dengan pengamatan selama satuan waktu tertentu, yang nilainya digunakan sebagai dasar perencanaan dan evaluasi pada masa yang akan datang. Dengan diketahuinya volume lalu lintas yang lewat pada ruas jalan dalam waktu tertentu maka akan diketahui kelas jalan tersebut sehingga nantinya dapat ditentukan tebal perkerasan dan lebar efektif jembatan.

2.3.1. 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.

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

LHRT dinyatakan dalam smp/hari/2 arah atau kendaraan/hari/2 arah untuk jalan 2 lajur 2 arah, smp/hari/1 lajur atau kendaraan/hari/1 arah untuk jalan berlajur banyak dengan median.

2.3.2. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

LHR adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}}$$

Data LHR ini cukup teliti jika pengamatan dilakukan pada interval-interval waktu yang cukup menggambarkan fluktuasi lalu lintas selama 1 tahun dan hasil LHR yang dipergunakan adalah harga rata-rata dari perhitungan LHR beberapa kali.

2.3.3. Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Ekivalensi mobil penumpang yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas. Untuk mobil penumpang, nilai emp adalah 1,0. Sedangkan nilai emp untuk masing-masing kendaraan untuk jalan tol (jalan empat lajur-dua arah terbagi) dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1.
Ekivalensi Kendaraan Penumpang (EMP) untuk Jalan Bebas Hambatan Dua Arah Empat Lajur (MW 4/2 D)

Tipe alinyemen	Arus total (kend/jam)	emp		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, hal 7-33

2.3.4. Volume Jam Perencanaan (VJP)

Arus lalu lintas bervariasi dari jam ke jam berikutnya dalam 1 hari, maka sangat cocok jika volume lalu lintas dalam 1 jam dipergunakan untuk perencanaan. Volume dalam 1 jam yang dipakai untuk perencanaan dinamakan Volume Jam Perencanaan (VJP).

Perhitungan VJP didasarkan pada rumus sebagai berikut :

$$VJP = k \times LHRT$$

Dimana k adalah faktor pengubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak. Untuk besarnya k dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2.
Penentuan Faktor k

Lingkungan Jalan	Jumlah Penduduk Kota	
	> 1 Juta	≤ 1 Juta
Jalan didaerah komersial dan jalan arteri	0,07 – 0,08	0,08 – 0,10
Jalan di daerah pemukiman	0,08 – 0,09	0,09 – 0,12

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997

Sedangkan untuk jalan bebas hambatan nilai k = 0,11

2.3.5. Pertumbuhan Lalu Lintas

Untuk memperkirakan pertumbuhan lalu-lintas di masa yang akan datang dapat dihitung dengan memakai rumus eksponensial sebagai berikut :

$$LHR_n = LHR_0 (1 + i)^n$$

Dimana :

LHR_n = LHR tahun rencana

LHR_0 = LHR awal

i = faktor perkembangan lalu-lintas (%)

n = umur rencana

2.3.6. Menghitung LHR (Lalu-lintas Harian Rata-rata)

1. Kapasitas jalan tol

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dipertahankan persatuan jam yang melewati suatu titik jalan yang ada. Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), dengan persamaan dasar :

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \text{ (smp/jam)}$$

Dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

C_0 = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = faktor penyesuaian akibat pemisahan arah

2. Menghitung kecepatan arus bebas dan waktu tempuh kendaraan

Persamaan untuk menghitung kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan, berdasarkan MKJI 1997 adalah:

$$FV = FV_0 + FV_w$$

Untuk kendaraan lain, dihitung berdasarkan persamaan MKJI 1997 :

$$FV_{\text{kend. lain}} = FV_{0 \text{ kend. lain}} + (FV_w \times FV_{0 \text{ kend lain}} / FV_{0 \text{ kend. ringan}})$$

Persamaan untuk menghitung waktu tempuh kendaraan untuk jalan baru adalah sebagai berikut :

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

Keterangan :

T (baru)	= Waktu perjalanan (menit)
S	= Panjang trase jalan
V	= kecepatan arus bebas kendaraan

3 Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu lintas suatu segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan akan mempunyai masalah kapasitas atau tidak, dinyatakan dalam persamaan :

$$DS = \frac{Q}{C} < 0.75$$

Dimana :

DS	= derajat kejenuhan
Q	= volume lalu lintas (smp)
C	= kapasitas jalan (smp/jam)

2.4. 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.

2.4.1. 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*.

2.4.2. 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.

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

2.5. ASPEK GEOMETRI JEMBATAN

Perencanaan geometri merupakan bagian dari perencanaan jembatan yang dititik beratkan pada pengaturan tata letak jembatan sehingga menghasilkan jembatan yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan ratio tingkat penggunaan / biaya pelaksanaan.

Perencanaan geometri jembatan sangat berkaitan dengan perencanaan geometri jalan yang dihubungkan oleh jembatan tersebut terutama yang berhubungan dengan lokasi jembatan seperti yang telah disinggung dalam aspek lokasi dan tipe jembatan, sehingga elemen – elemen yang terdapat pada geometri jalan merupakan dasar dari perencanaan geometri jembatan.

Elemen dari aspek geometrik adalah sebagai berikut :

2.5.1. Lebar Jembatan

Lebar jembatan ditentukan berdasarkan dari aspek lalu lintas pada jalan tol tersebut, setelah dilakukan analisa lalu lintas jalan tol, maka didapatkan lebar lajur jalan, lebar lajur jalan tersebut nantinya digunakan sebagai dasar perencanaan lebar jembatan.

2.5.2. Panjang Jembatan

Panjang jembatan ditentukan dari kondisi geografis di daerah sekitar jembatan.

2.5.3 Tinggi Jembatan

Tinggi jembatan disesuaikan dengan elevasi rencana jalan tol dan elevasi tanah dasar pada jembatan tersebut. Penetapan tinggi jembatan ini juga mempertimbangkan kondisi topografi lokasi jembatan rencana supaya tercapai efisiensi, efektifitas dan kelayakan konstruksi.

2.5.4 Alinyemen Horizontal

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

a. Superelevasi (e)

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

Superelevasi maksimum sebaiknya seperti yang dinyatakan sebagai berikut :

Jalan Tipe I superelevasi : 10%

Jalan Tipe II superelevasi : 6%

b. Jari-Jari Tikungan

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

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

Keterangan :

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

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e_{max} = superelevasi maksimum (%)

f_{max} = koefisien gesek maksimum untuk perkerasan aspal
($f=0,14 - 0,24$)

Tabel 2.3. Panjang Jari - Jari Minimum

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Jari-Jari Minimum R_{min} (m)	
	Jalan Tipe I	Jalan Tipe II
100	350	460
80	230	280
60	120	150
50	80	100
40	-	60
30	-	30
20	-	15

Sumber : PGJAK, 1997

Tabel 2.4. Panjang Jari - Jari Minimum yang Disarankan

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Jari-Jari Minimum yang Disarankan R_{min} (m)
100	700
80	400
60	200
50	150
40	100
30	65
20	30

Sumber : PGJAK, 1997

c. Panjang Tikungan Minimum

Panjang as sebuah jalur jalan pada tikungan sebaiknya dua kali panjang bagian peralihan.

Tabel 2.5 Panjang Tikungan Minimum

Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Panjang Tikungan Minimum (m)	
	Standar	Keadaan Terpaksa
100	600	170
80	500	140
60	350	100
50	300	80
40	250	70
30	175	50
20	140	40

Sumber : PGJAK, 1997

d. Lengkung Peralihan

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

Tabel 2.6 Panjang Minimum Lengkung Peralihan

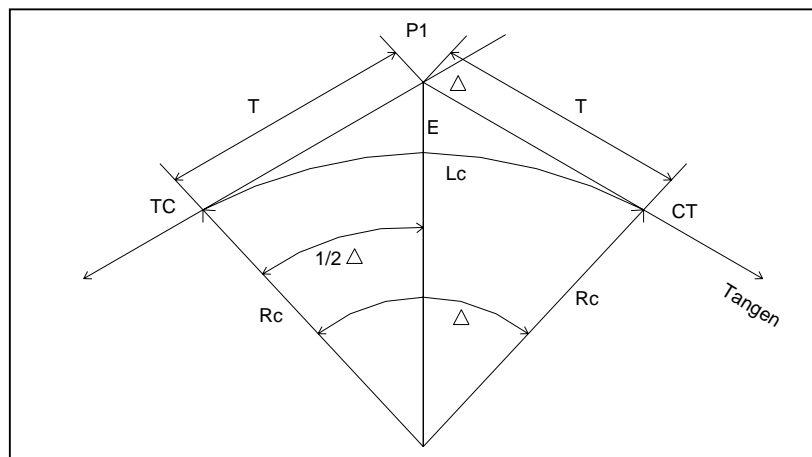
Kecepatan Rencana V_R (km/jam)	Panjang Minimum Lengkung Peralihan (m)
100	85
80	70
60	50
50	40
40	35
30	25
20	20

Sumber : PGJAK, 1997

Macam-macam tikungan pada perencanaan alinyemen horizontal :

1. Full Circle

Contoh gambar lengkung full circle dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 2.2. Lengkung Full Circle

Keterangan :

PI = titik perpotongan tangen

Rc = jari-jari lingkaran (m)

Δ = sudut tangen ($^{\circ}$)

TC = Tangen Circle

T = jarak antara TC dan PI atau PI dan CT (m)

Lc = panjang bagian lengkung circle

E = jarak PI ke lengkung circle

Rumus yang digunakan :

$$T = R_c \times \tan \frac{1}{2}\Delta$$

$$E = R_c \times \tan \frac{1}{4}\Delta$$

$$E = \sqrt{(R^2 + T^2)} - R_c$$

$$E = R (\sec \frac{1}{2}\Delta - 1)$$

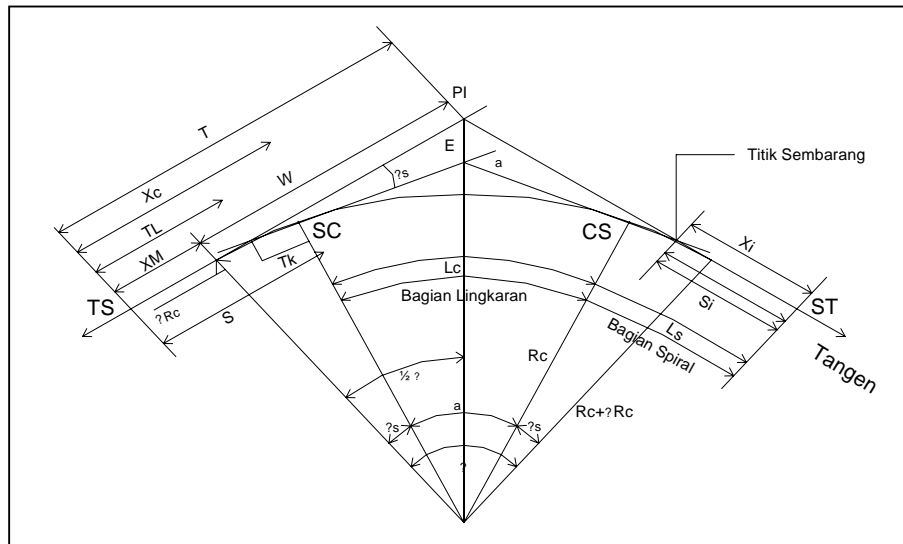
$$L_c = 0,01745 \Delta \times R_c$$

$$L_t = L_c$$

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

2. Spiral – Circle - Spiral

Contoh gambar lengkung Spiral – Circle – Spiral dapat dilihat pada Gambar di bawah :



Gambar 2.3. Lengkung Spiral – Circle – Spiral

Keterangan :

PI = titik perpotongan tangen

- TS = titik perubahan dari tangen ke spiral
 SC = titik perubahan dari spiral ke circle
 CS = titik perubahan dari circle ke spiral
 Rc = jari-jari lengkung lingkaran
 L = panjang busur spiral dari TS ke suatu titik sembarang
 Lc = panjang busur lingkaran
 Ls = panjang busur spiral
 T = panjang tangen utama
 E = panjang eksternal total dari PI ke tengah busur lingkaran
 TL = panjang “tangen panjang” dari spiral
 TK = panjang “tangen pendek” dari spiral
 S = panjang tali busur spiral
 Si = panjang tali busur spiral dari TS ke titik sembarang
 ΔRc = jarak dari busur lingkaran tergeser terhadap jarak tengah
 Xm = jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada tangen
 Δ = sudut pertemuan antara tangen utama
 α = sudut pertemuan antara tangen lingkaran dan sudut pusat lingkaran
 θ_s = sudut spiral
 θ_{si} = sudut spiral ke titik sembarang pada spiral
 δ = sudut antara tangen utama dengan tali busur
 Xc, Yc = koordinat SC atau CS terhadap TS – PI atau PI – TS
 i, Yi = koordinat setiap titik pada spiral terhadap TS – PI atau PI – TS

Rumus yang digunakan :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$T = X_m + \omega$$

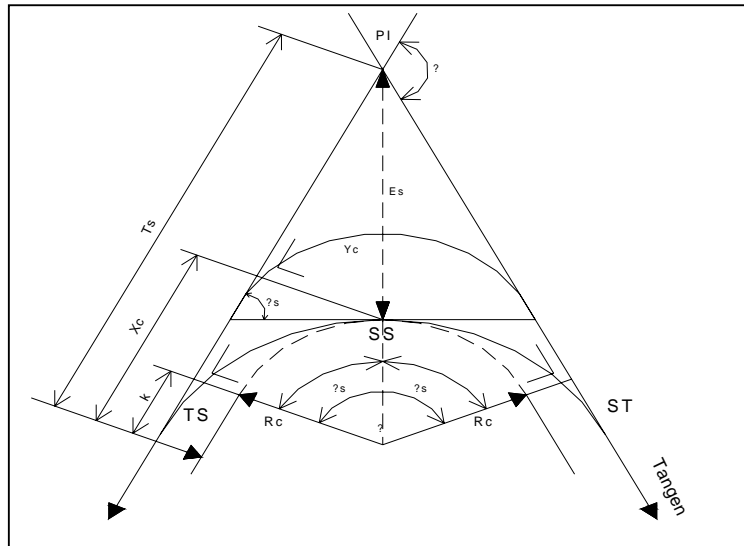
$$L_c = R_c \pi \theta_s / 180^\circ$$

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

Pada tikungan jenis ini, dari arah tangen ke arah circle memiliki spiral yang merupakan transisi dari bagian luar ke bagian circle. Adanya lengkung spiral adalah lengkung transisi pada alinyemen horizontal. Lengkung spiral sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada bagian ini terjadi gaya sentrifugal dari 0 sampai dengan maksimum ketika kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkung tersebut. Untuk lengkung S-C-S sebaiknya $L_c \geq 20\text{m}$

3. Spiral – Spiral

Contoh gambar lengkung Spiral – Spiral dapat dilihat pada Gambar di bawah :



Gambar 2.4. Lengkung Spiral – Spiral

Rumus yang digunakan :

$$\Delta C(\alpha) = 0 \rightarrow \Delta = 2\theta_s$$

$$L_c = 0 \rightarrow L_t = 2L_s$$

$$L_s = \frac{2\pi R_c}{360^\circ} \times 2\theta_s \rightarrow L_s = \frac{\theta_s \times R_c}{28,648}$$

$$T_s = (R_c + P) \operatorname{tg} \Delta/2 + K$$

$$E_s = (R_c + P) \sec \Delta/2 - R_c$$

Jenis tikungan Spiral-Spiral digunakan pada tikungan tajam dengan sudut tangen (Δ) yang sangat besar. Pada Spiral-Spiral, dimana $L_c = 0$, merupakan tikungan yang kurang baik. Sebab tidak ada jarak tertentu dalam masa tikungan yang sama miringnya. Pada lengkung yang berbentuk Spiral-Spiral, prinsipnya hampir sama dengan tipe Spiral-Circle-Spiral, hanya disini tidak digunakan lengkung Circle, $L_c = 0$ hingga $L_t = 2L_s$.

2.6. ASPEK KONSTRUKSI JEMBATAN

Dalam aspek konstruksi jembatan ini akan ditinjau mengenai pembebanan jembatan, komponen utama jembatan, kondisi tanah dasar, dan perencanaan perkerasan oprit. Komponen utama jembatan terdiri atas bangunan

bawah (*substructure*) dan bangunan atas (*upper structure/super structure*). Bangunan bawah terdiri dari abutment atau pangkal jembatan, pilar dan pondasi sedangkan bangunan atas terdiri dari lantai jembatan, gelagar atau rangka utama, gelagar memanjang, gelagar melintang, diafragma, pertambahan angin dan lain-lain. Selain itu, terdapat juga bangunan pelengkap seperti tembok samping, tembok muka, dinding penahan tanah, drainase jembatan dan lain-lain. Penggunaan trotoar tidak diperlukan, hal ini dikarenakan jalan yang dihubungkan oleh jembatan ini merupakan jalan tol yang tidak memerlukan sarana untuk pejalan kaki.

2.6.1. Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan jembatan direncanakan dengan menggunakan aturan yang terdapat pada Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan 1992 (*BMS/Bridge Manajemen System*) bagian 2 tentang beban 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.

Beban-beban yang bekerja pada jembatan berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*BMS/Bridge Manajemen System*), meliputi :

1. Beban Tetap

Adalah berat dari masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen nonstruktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang tidak dipisahkan dan tidak boleh menjadi bagian-bagian pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang.

Beban tetap terdiri dari:

a. Berat Sendiri

Beban mati merupakan berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

b. Beban Mati Tambahan

Adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin umurnya berubah selama umur jembatan.

c. Pengaruh Penyusutan dan Rangkak

Pengaruh ini harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan-jembatan beton. Apabila penyusutan dan rangkak bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

d. Pengaruh Prategang

Prategangan harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan dalam kombinasinya dengan beban lain.

e. Tekanan Tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai dengan rumus-rumus yang ada.

f. Pengaruh Tetap Pelaksanaan

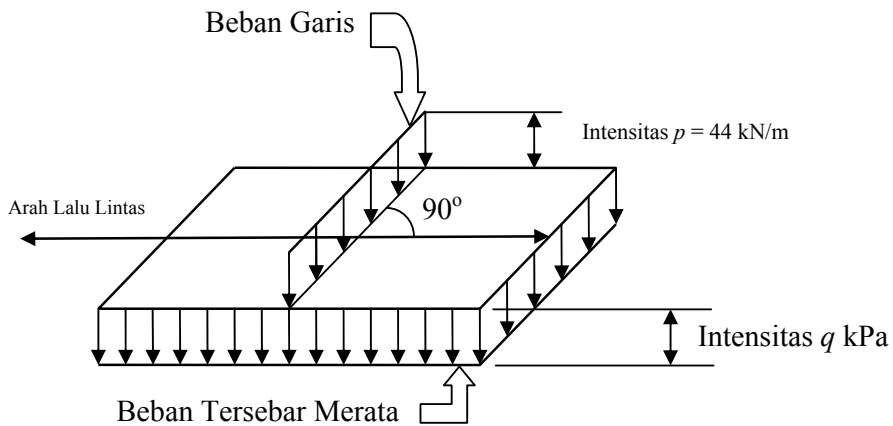
Pengaruh tetap pelaksanaan disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan jembatan, biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya seperti prapenegangan dan berat sendiri, dan dalam hal ini pengaruh tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup pada jembatan ditinjau dalam dua macam, yaitu beban "T" yang merupakan beban terpusat untuk lintai kendaraan dan beban "D" yang merupakan beban jalur untuk gelagar.

a. Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata yang digabung dengan beban garis, seperti terlihat dalam Gambar 2.5 berikut:



Sumber : BMS, 1992

Gambar 2. 5. Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total (L) yang dibebani seperti berikut :

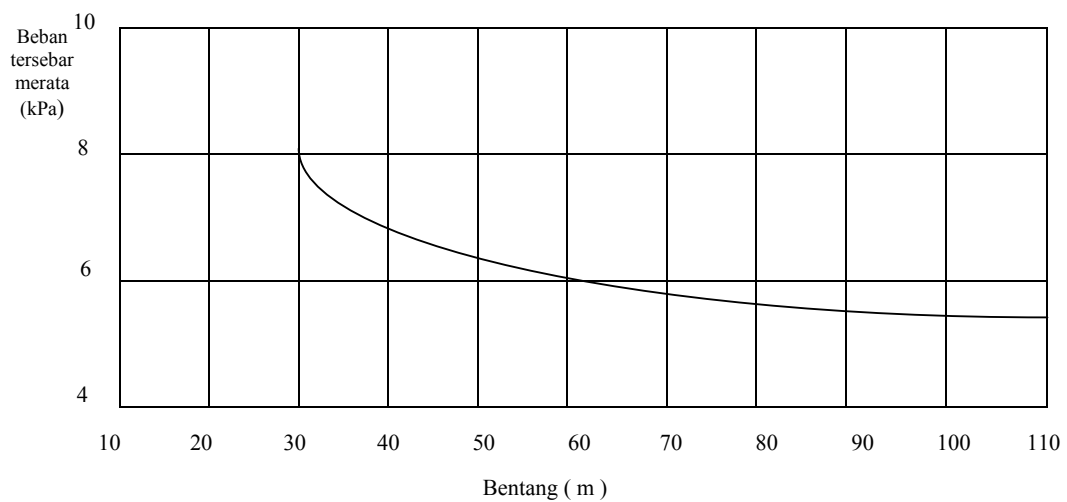
Untuk $L \leq 30$ m ;

$$q = 8,0 \text{ kPa}$$

Untuk $L > 30$ m ;

$$q = 8,0 \times (0,5 + (15 / L)) \text{ kPa}$$

Hubungan dari perhitungan beban lajur “D” dapat dilihat dalam Gambar 2.6 di bawah ini:



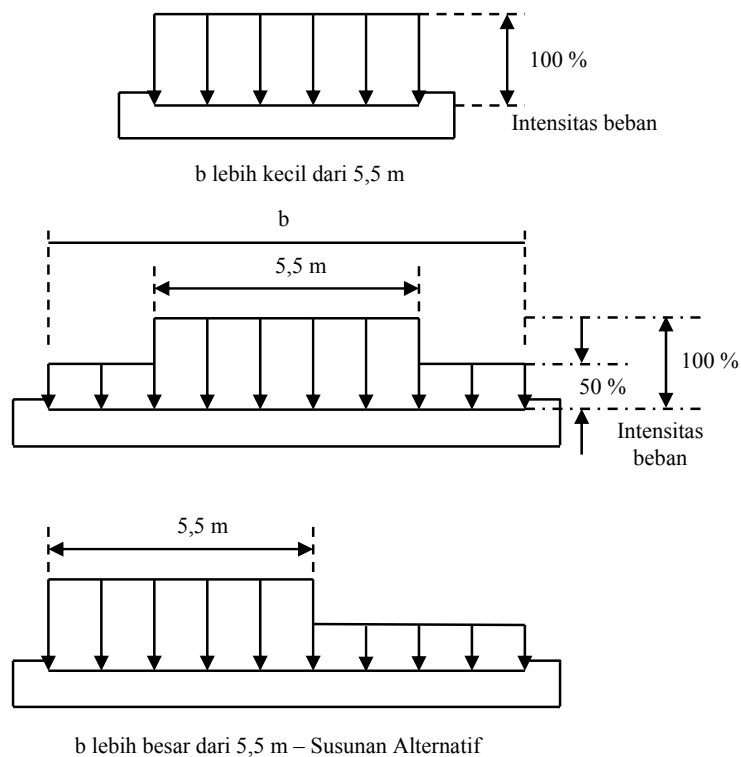
Sumber : BMS, 1992

Gambar 2.6. Beban “ D “ : Beban Tersebar Merata dan Bentang

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 %).

Untuk lebih jelasnya, berikut Gambar 2.7 merupakan penyebaran beban dalam arah melintang:

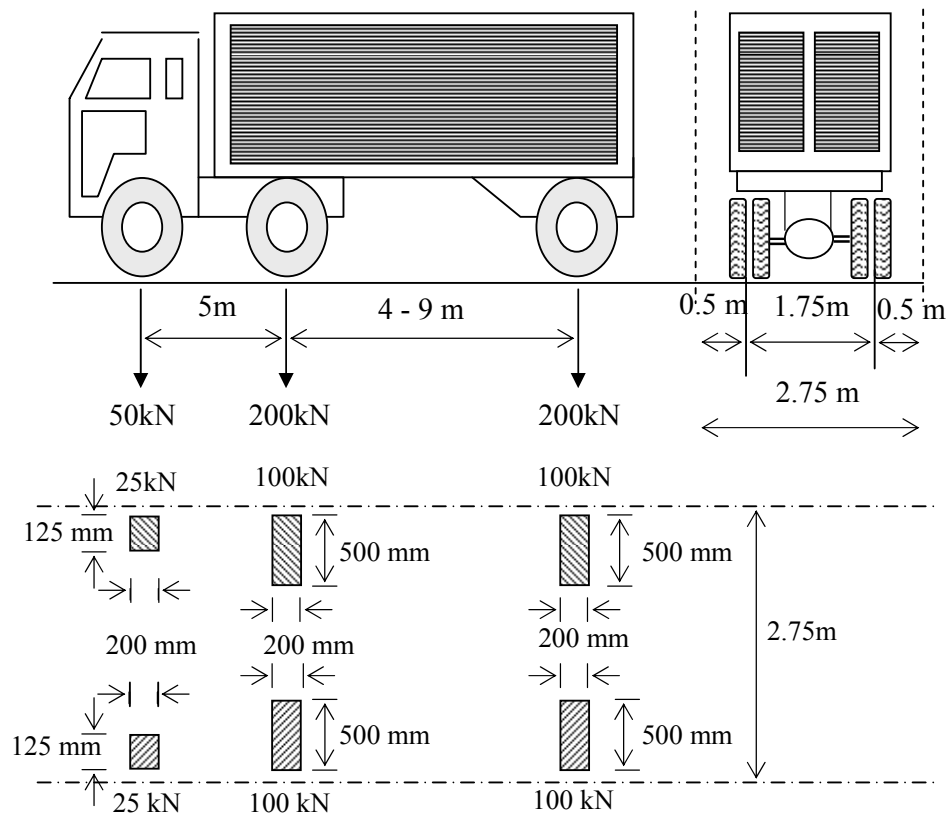


Sumber : BMS, 1992

Gambar 2.7. Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

b. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada Gambar 2.8. 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.



Sumber : BMS, 1992

Gambar 2.8. Beban Truk “T”

c. Pembebanan Lalu Lintas Yang Dikurangi

Dalam keadaan khusus dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi 70 % bisa digunakan. Faktor pengurangan 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T”.

d. Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (*DLA/Dinamic Load Allowance*) merupakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya DLA tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan (biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat) dan frekuensi dari getaran lentur jembatan.

e. Gaya Rem

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada lantai kendaraan.

f. Gaya Setrifugal

Untuk jembatan yang mempunyai lengkung horisontal harus diperhitungkan adanya gaya sentrifugal akibat pengaruh pembebanan lalu lintas untuk seluruh bagian bangunan. Beban lalu lintas dianggap bergerak pada kecepatan tiga perempat dari kecepatan rencana untuk jalan. Gaya sentrifugal harus bekerja secara bersamaan dengan pembebanan “D” atau “T” dengan pola yang sama sepanjang jembatan. Fraksi beban dinamis jangan ditambahkan dengan gaya sentrifugal tersebut. Gaya sentrifugal dianggap bekerja pada permukaan lantai dengan arah keluar secara radial dan harus sebanding dengan pembebanan total pada suatu titik berdasarkan rumus :

$$T_{TR} = 0,006 (V^2 / r) T_T$$

Dimana :

T_{TR} = Gaya sentrifugal yang bekerja pada bagian jembatan.

T_T = Pembebanan lalu lintas total yang bekerja pada bagian yang sama.

V = Kecepatan lalu lintas rencana (km/jam).

r = Jari – jari lengkungan (m).

g. Beban Tumbukan pada Penyangga Jembatan

Pilar yang mendukung jembatan yang melintas jalan raya, jalan kereta api dan navigasi sungai harus direncanakan mampu menahan beban tumbukan. Kalau tidak, bisa direncanakan dan dipasang pelindung.

3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan adalah beban-beban akibat pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam tata cara ini didasarkan pada analisa statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

a. Penurunan

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan mungkin bisa dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah.

b. Pengaruh Temperatur

Pengaruh temperatur dibagi menjadi :

1) Variasi pada temperatur jembatan rata-rata

Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada *bearings* dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut.

2) Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan (perbedaan temperatur)

Variasi perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.

c. Beban angin

Gaya nominal *ultimate* dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \dots\dots\dots \text{kN}$$

Dimana :

V_w = kecepatan angin rata-rata (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_w = koefisien seret

A_b = luas koefisien bagian samping jembatan (m^2).

Angin harus dianggap secara merata pada seluruh bangunan atas.

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 \dots\dots\dots kN$$

Dimana :

$$C_w = 1,2$$

d. Pengaruh Gempa

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas *ultimate*.

1) Beban horisontal statis ekuivalen

Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut:

$$T'_{EQ} = K_h / W_T \dots\dots\dots kN$$

dimana:

$$K_h = C S$$

dan:

T'_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau

K_h = Koefisien beban gempa horisontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu ,dan kondisi setempat yang sesuai

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

W_T = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)

Waktu dasar getaran jembatan yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekakuan dan fleksibilitas dari sistem pondasi.

Untuk bangunan yang mempunyai satu derajat kebebasan yang sederhana, rumus berikut bisa digunakan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}}$$

dimana:

T = Waktu getar dalam detik

g = Percepatan gravitasi (m/dt²)

W_{TP} = Berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (kN)

K_p = Kekakuan gabungan sebagai gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Catatan bahwa jembatan biasanya mempunyai waktu getar yang berbeda pada arah memanjang dan melintang sehingga beban rencana statis ekuivalen yang berbeda harus dihitung untuk masing-masing arah.

2) Ketentuan- ketentuan khusus untuk pilar tinggi

Apabila berat pilar lebih besar dari 20 % berat total yang dipengaruhi oleh percepatan gempa, W_T, maka beban statis ekuivalen arah horisontal pada pilar harus disebarkan.

3) Beban vertikal statis ekuivalen

Untuk perencanaan perletakan dan sambungan, gaya gempa vertikal dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal (ke atas atau ke bawah) sebesar 0,1 g yang bekerja secara bersamaan dengan gaya horisontal. Gaya ini jangan dikurangi oleh berat sendiri jembatan dan bangunan pelengkapannya. Gaya gempa vertikal bekerja pada bangunan berdasarkan pembagian massa, dan pembagian gaya gempa antara bangunan bawah dan bangunan atas harus sebanding dengan kekakuan relatif dari perletakan atau sambungannya.

4) Tekanan tanah lateral akibat gempa

Dihitung dengan menggunakan faktor harga dari sifat bahan, koefisien gempa horisontal (K_h), faktor kepentingan (I), pengaruh dari

percepatan tanah arah vertikal bisa diabaikan. Tekanan tanah dinamis harus dihitung dengan metode rasional yang telah diakui.

5) Bagian tertanam dari jembatan

Bila bagian-bagian jembatan seperti pangkal tertanam, faktor tipe bangunan (S) yang akan digunakan dalam menghitung beban statis ekuivalen akibat massa bagian tertanam, harus ditentukan sebagai berikut:

(a) Bila bagian tertanam dari struktur dapat menahan simpangan horisontal besar (konsisten dengan gerakan gempa) sebelum runtuh, dan sisa struktur dapat mengikuti simpangan tersebut, maka S untuk bagian tertanam harus diambil sebesar 1,0.

(b) Bila bagian tertanam dari struktur tidak dapat menahan simpangan horisontal besar, atau bila sisa struktur tidak dapat mengikuti simpangan tersebut, maka S untuk bagian tertanam harus diambil sebesar 3,0.

6) Tekanan air lateral akibat gempa

Gaya ini dianggap bekerja pada bangunan pada kedalaman sama dengan setengah dari kedalaman air rata-rata.

Ketinggian permukaan air yang digunakan untuk menentukan kedalaman air rata-rata harus sesuai dengan:

(1) Untuk arus yang mengalir, ketinggian yang diambil dalam perencanaan adalah melebihi harga rata-rata enam bulan untuk setiap tahun.

(2) Untuk arus pasang, diambil ketinggian permukaan air rata-rata.

4 Aksi – Aksi Lainnya

a. Gesekan pada Perletakan

b. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan beban tetap dan harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).

c. Pengaruh Getaran

1) Umum

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan.

2) Jembatan

Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D“, dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum. Walaupun diijinkan terjadi lendutan statis yang relatif besar akibat beban hidup, perencanaan harus menjamin bahwa syarat-syarat untuk kelelahan bahan dipenuhi.

d. Beban pelaksanaan

Terdiri dari:

- 1) Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri.
- 2) Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

5 Kombinasi Beban

a. Umum

Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor beban yang memadai. Seluruh pengaruh aksi rencana harus mengambil faktor beban yang sama, apakah itu biasa atau berkurang. Di sini keadaan paling berbahaya harus diambil.

b. Pengaruh Umur Rencana

Faktor beban untuk keadaan batas *ultimate* didasarkan kepada umur rencana jembatan 50 tahun. Untuk jembatan dengan umur rencana berbeda, faktor beban *ultimate* harus diubah dengan menggunakan faktor pengali.

c. Kombinasi untuk Aksi Tetap

Seluruh aksi tetap untuk jembatan tertentu diharapkan bekerja bersama-sama. Akan tetapi apabila aksi tetap bekerja mengurangi pengaruh total, kombinasi beban harus diperhitungkan dengan memperhitungkan adanya pemindahan aksi tersebut, apabila pemindahan tersebut bisa diterima.

d. Perubahan Aksi Tetap terhadap Waktu

Beberapa aksi tetap seperti beban mati tambahan, penyusutan dan rangkak, pengaruh tegangan, dan pengaruh penurunan bisa berubah perlahan-lahan berdasarkan pada waktu.

e. Kombinasi pada Keadaan Batas Daya Layan

Terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dan satu aksi *transient*. Pada keadaan batas daya layan, lebih dari satu aksi *transient* bisa terjadi secara bersamaan.

f. Kombinasi Pada Keadaan Batas *Ultimate*

Terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dan satu aksi *transient*. Pada keadaan batas *ultimate*, tidak diadakan aksi *transient* lain untuk kombinasi dengan aksi gempa. Hanya satu aksi pada tingkat daya layan yang dimasukkan pada kombinasi pembebanan

Kombinasi beban yang dipakai bisa bermacam-macam seperti terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7.
Kombinasi Beban yang Lazim untuk Keadaan Batas

AKSI	Kombinasi Beban												
	Daya Layan						Ultimate						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1. Aksi Tetap: berat sendiri beban mati tambahan penyusutan, rangkak prategang pengaruh pelaksanaan tetap tekanan tanah penurunan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Aksi <i>Transien</i> : beban lajur "D", atau beban truk "T"	x	o	o	o	o		x	o	o	o			
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal	x	o	o	o	o		x	o	o	o			
4. beban pejalan kaki		x						x					
5. Gesekan pada perletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o			o
6. Pengaruh temperatur	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o			o
7. Aliran/hanyutan/tumbukan dan hidrostatik/apung	o		o	x	o	o	o		x	o			o
8. Beban angin			o	o	x	o	o		o	x			o
9. Aksi lain: gempa													x
10. Beban tumbukan													
11. Pengaruh getaran	x	x											
12. Beban pelaksanaan						x							x

Sumber : BMS 1992

Keterangan:

x = untuk kombinasi tertentu adalah memasukkan faktor daya layan dan beban *ultimate* secara penuh

o = memasukkan harga yang sudah diturunkan

6 Tegangan Kerja Rencana

Beban nominal bekerja pada jembatan dan satu faktor keamanan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan kekuatan atau perlawanan dari komponen bangunan.

$$S' \leq R'_{ws}$$

dimana:

S' = pengaruh aksi rencana, diberikan dari:

$$S' = \Sigma S$$

dimana:

S = pengaruh aksi nominal

R'_{ws} = perlawanan atau kekuatan rencana diberikan dengan rumus:

$$R'_{ws} = \left(1 + \frac{r_{os}}{100}\right) R_{ws}$$

dimana:

R_{ws} = perlawanan atau kekuatan berdasarkan pada tegangan kerja izin

r_{os} = tegangan berlebihan yang diperbolehkan diberikan.

2.7. Struktur Atas (Upper Structure)

Struktur atas merupakan bagian atas suatu jembatan yang berfungsi untuk menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas yang kemudian menyalurkannya ke bangunan dibawahnya. Struktur atas jembatan terdiri dari :

1. Sandaran (*Railling*)

Sandaran merupakan pembatas pada pinggiran jembatan, sehingga memberikan rasa aman bagi pengguna jembatan yang melewatinya.

Konstruksi sandaran terdiri dari :

a) Tiang sandaran (*Rail post*)

Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang untuk jembatan dengan girder beton atau profil baja. Sedangkan untuk jembatan rangka baja, tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.

Tiang sandaran harus direncanakan dengan beban kearah luar yang bekerja pada bagian palang, ditambah beban arah memanjang jembatan yang sama dengan 0,5 kali jumlah tersebut. Tiang sandaran juga harus direncanakan untuk menahan beban kearah dalam sebesar 0,25 kali beban kearah luar, yang bekerja secara terpisah.

b) Sandaran (*Hand Rail*)

Sandaran biasanya terbuat dari pipa besi, kayu, beton bertulang.

Perhitungan dimensi dan penulangan digunakan rumus beton bertulang seperti berikut (Menghitung Beton Bertulang berdasarkan SNI 1992, Ir. Udiyanto)

$$Mn = \frac{M_u}{\phi}$$

$$K = \frac{Mu}{(b * d^2 * RI)}$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$F_{max} = \frac{\beta_1 * 450}{(600 + f_y)}$$

Jika $F > F_{max}$, maka digunakan tulangan dobel

Jika $F > F_{max}$, maka digunakan tulangan single underreinforced

$$As = \frac{f * b * d * RI}{600 + f_y}$$

Check :

$$\rho_{min} = \frac{\beta_1 * 450 / (600 + f_y) * RI}{600 + f_y} * \frac{RI}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho = As * b * d$$

Tulangan Geser :

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

$$Vc = 0,17 \sqrt{f'c * b * d}$$

Jika $(Vn - Vc) \geq 2/3 * \sqrt{f'c * b * d}$, maka penampang harus ditambah

Jika $(V_n - V_c) \geq 2/3 * \sqrt{f_c * b * d}$, maka penampang cukup

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

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

$V_u < \phi < V_c$, maka perlu tulangan geser minimum

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

$V_u < \phi < V_c$, maka perlu tulangan geser sebagai berikut :

$$A_v = (V_n - V_c) * \frac{s}{(d * f_v)}$$

$$s = \dots \leq d / 2$$

$$s = \dots \leq d / 4, \text{ bila } ((V_n - V_c)) \geq 0,33 * \sqrt{f_c * b * d}$$

2. Pelat Lantai

Pelat lantai berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang diasumsikan tertumpu pada dua sisi. Pembebanan pelat lantai meliputi :

a) Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri pelat, berat perkerasan, dan berat air hujan

b) Beban hidup

Beban hidup pada pelat lantai dinyatakan dengan beban "T"

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 (Menghitung Beton Bertulang berdasarkan SNI 1992, Ir. Udiyanto):

1) Tebal pelat Lantai

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

2) Perhitungan Momen

a. Untuk beban mati

$$M_{xm} = 1/10 * l_x^2 ; M_{ym} = 1/3 * M_{xm}$$

b. Untuk beban hidup

$\frac{l_x}{l_y} \rightarrow$ dengan tabel bitnerr didapat f_{xm}

$\frac{t_y}{l_y} = \frac{t_x}{l_x} \rightarrow$ dengan tabel bitnerr didapat f_{ym}

$$M_{xm} = f_{xm} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

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

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

3) Perhitungan penulangan $Ru = \frac{M_x.y_{total}}{0.8 * b * dx^2}$

$$M = \frac{f_y}{0,85 * f'_c}$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Ru * M}{f_y}} \right)$$

$$\rho = 0,75 * \frac{\beta * 6000}{6000 + f_y} * \frac{Re}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

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

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

$$As = \rho * b * d$$

3. Gelagar Jembatan

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkan pada tumpuan untuk disalurkan ke pier, pondasi dan dasar tanah. Pada studi pustaka ini hanya diuraikan gelagar utama dengan beton prategang.

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

Beton prategang memberikan keuntungan – keuntungan namun juga memiliki kekurangan – kekurangan disbanding dengan konstruksi lainnya

Keuntungan dari pemakaian beton prategang :

1. Terhindar retak didaerah tarik, sehingga konstruksi lebih tahan terhadap korosi dan lebih kedap.
2. penampang struktur lebih kecil/langsing, karma seluruh penampang dapat dipakai secara efektif.
3. Lendutan akhir yang terjadi lebih kecil dibandingkan beton bertulang.
4. Dapat dibuat konstruksi dengan bentangan yang panjang
5. Untuk bentang > 30 m dapat dibuat secara seg mental sehingga mudah untuk transportasi dari pabrikasi ke lokasi proyek.
6. Ketahanan terhadap geser dan puntir bertambah, akibat pengaruh prategang meningkat.
7. Hampir tidak memerlukan perawatan dan,
8. Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton prategang

1. Kontruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
2. Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat erection karena bobot dan gaya patah getaran

3. Membutuhkan teknologi tinggi dan canggih.
4. Sangat sensitive dan peka terhadap pengaruh luar.
5. Biaya awal tinggi.

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

1. Sitem 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 :

- a. Pre-tensioning, yaitu setresing dilakukan pada awal/sebelum beton mengeras
- b. Post-tensioning, yaitu setresing dilakukan pada akhir/setelah beton mengeras.

Secara umum perbedaan dari system penegangan diatas adalah :

Pre-tensioning :

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

Post-tensioning

- a) Beton dicor sebelum tendon ditegangkan.
- b) Ada duct untuk penempetan tendon dalam beton
- c) Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui penjanggaran (angker)
- d) Layout tendon dapat dibuat lurus atau para bola.

2. Tegangan yang diijinkan

a. Keadaan awal

Keadaan dimana beban luar belum bekerja dan tegangan yang 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. $\sqrt{f'_{ci}}$

b. 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. $\sqrt{f'_c}$

3. Perhitungan pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain beban mati, beban hidup, dan beban lainnya sesuai dengan PPJJR 1987 seperti telah diuraikan di atas.

4. Perencanaan dimensi penampang

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

5. Perencanaan Tegangan penampang

Perencanaan penampang dibuat full prestressing dimana pada penampang tidak diijinkan adanya tegangan tarik. Hal ini memaksimalkan fungsi dari beton prategang dan strands tendon.

a. Keadaan awal

Partial Prestressing

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

Full Prestressing

$$f_{top} = 0 \text{ dan } f_{bott} \leq f_{ci}$$

b. Keadaan akhir

Partial Prestressing

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

Full Prestressing

$$f_{top} \leq f_c \text{ dan } f_{bott} = 0$$

Dengan e dan M_d pada penampang kritis :

a. Kondisi awal

$$f_{top} = \frac{T_i}{A_c} - \frac{T_i * e}{S_b} + \frac{M_d}{S_t} \leq -f_{ti}$$

$$f_{bott} = \frac{T_i}{A_c} + \frac{T_i * e}{S_b} - \frac{M_d}{S_t} \leq f_{ci}$$

b. Kondisi akhir

$$f_{top} = \frac{R * T_i}{A_c} - \frac{R * T_i * e}{S_t} + \frac{M_d + M_L}{S_b} \leq f_c$$

$$f_{bott} = \frac{R * T_i}{A_c} - \frac{R * T_i * e}{S_b} - \frac{M_d + M_L}{S_b} \leq -f_t$$

6. Layout tendon terhadap Analisa Penampang Kritis

Perhitungan yang disyaratkan :

$$f_{cgc} = \frac{T_i}{A}$$

a. Kondisi awal

Tegangan pada serat atas ; $f_t = -f_{ti}$

$$e_1 = \frac{S_t}{T_i} (f_{ti} + f_{cgc}) + \frac{M_D}{T_i}$$

Tegangan pada serat bawah ; $f_b = f_{ci}$

$$e_2 = \frac{S_b}{T_i} (f_{ci} + f_{cgc}) + \frac{M_D}{T_i}$$

b. Kondisi akhir

Tegangan pada serat atas ; $f_t = f_c$

$$e_3 = \frac{St}{R * Ti} (-fc + R * f_{cgc}) + \frac{M_D + M_L}{R * Ti}$$

Tegangan pada serat bawah ; $f_b = -f_t$

$$e_4 = \frac{Sb}{R * Ti} (-f_t - R * f_{cgc}) + \frac{M_D + M_L}{R * Ti}$$

Didapat nilai e_1 pada masing-masing tendon, plotkan dengan gambar berskala dan diperoleh layout tendon.

7. Pemilihan Tendon

Pemilihan jenis, diameter, jumlah strands, anker blok dan duck tendon pada beton prategang disesuaikan dengan bahan material yang ada dipasaran guna kemudahan pengadaan material namun juga mampu menahan daya tarik maksimum tendon guna mendapatkan tegangan ultimit (R_{ti}) sesuai dengan perencanaan untuk dapat mempertahankan gaya tarik tersebut.

8. End Block

- a. Propertis penampang
- b. Tegangan Bearing Zone

Keadaan awal :

$$\sigma'_{bi} = 0,8 \cdot f'_{ci} \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} - 0,2 \leq 1,25 \cdot f'_{ci}$$

Keadaan akhir

$$\sigma'_b = 0,6 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} \leq f'_c$$

Dimana : $Ab = \text{luas bidang pelat angker (mm}^2\text{)}$

$Ac = \text{luas bidang penyebaran (mm}^2\text{)}$

1. Tegangan pada beton

$$\sigma_{bi} = \frac{Ti}{h_b * b} \sigma'_{bi} \text{ dan } \sigma_b = \frac{Ti}{a * b} \leq \sigma'_b$$

2. Bursting Force (R)

$$\frac{h_b}{a} \leq 0,2 \rightarrow R = 0,3.T_i \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$

$$\frac{h_b}{a} > 0,2 \rightarrow R = 0,3.T_i \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$

$$n.A_s.f_y = R \dots \dots \dots n = \frac{a}{s}$$

$$A_s = \frac{R}{n.f_y}$$

9. Perhitungan Geser

- a. Pola retak karena Gaya Lintang (Shear Compression Failure)

$$V_{cw} = V_{cr} * b_w * d + V_T$$

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_T = Komponen vertical dari gaya prategang akhir

$$T_c = \tan \alpha * T_l$$

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

e_0 = Eksentrisitas beton pada h/2

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

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

- b. Pola retak akibat kombinasi momen lengkung dan gaya lintang (Diagonal Tension Failure)

$$V_w = RA - q_x \rightarrow \text{Gaya lintang yang terjadi pada } L/4$$

$$M = RA - \frac{1}{2} * q * x^2 \rightarrow \text{Momen yang terjadi pada } L/4$$

Dimana : f_{pe} = Tegangan pada serat bawah pada $L/4$
 = Eksentrisitas tendon pada $L/4$

Momen retak pada lentur murni :

$$V_{cr} = f_b * S_b \dots \dots \dots f_b = f_{tr} + f_{pe} \dots \dots \dots f_{tr} = 0,5\sqrt{f_c}$$

$$f_{pe} = \frac{T_i}{A} + \frac{T_i * e}{S_b}$$

Gaya geser yang mengakibatkan flexure shear cracks :

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

Dimana : $V = V_u$

d = Jarak cgs sampai serat teratas (mm)

$V_{ci} = V_u \dots \dots \dots$ Penampang aman terhadap keretakan akibat geser dan momen lengkung.

- c. Penulangan Geser

$$V_{max} = V_c + 0,8\sqrt{f_c} * b_w * d$$

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

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

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

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

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

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

10. Perhitungan Lentutan

$$E = 4700 * \sqrt{f_c}$$

- a. Lentutan akibat berat sendiri balok

$$\delta_{bsb} = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

b. Lendutan akibat beban hidup

$$\delta_{bh} = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

c. Lendutan akibat gaya pratekan

Gaya pratekan awal

$$M = T_0 \cdot e \rightarrow T_0 = \frac{Ti}{0,85}$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_0 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

d. Lendutan gaya prategang efektif

$$M = T_1 \cdot e$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

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

$$\text{Check : } \delta_0 - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin}$$

$$\delta_1 - \delta_{bh} - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin}$$

11. Perhitungan Kehilangan Tegangan

Bersumber pada beton :

a. Perpendekan Elastis

$$\Delta \sigma_{si} = n \cdot \frac{F}{A}$$

$$F = (\text{Jumlah tendon} - 1) \times \frac{A_{tendon} \cdot \sigma}{\text{Jumlahtendon}} \rightarrow \sigma_{si} = \frac{T_i}{A}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\text{Kehilangan tegangan rata-rata} = \frac{\sum \Delta \sigma_{si}}{\text{Jumlah tendon}}$$

$$\% \text{ losses} = \frac{\text{Kehilangan.tegangan.rata - rata}}{\sigma_{si}}$$

b. Susut (Shrinkage)

$$\Delta f_{sh} = E_s \varepsilon_{sh} \rightarrow \varepsilon_{sh} = k_s \cdot k_h \cdot \left(\frac{t}{35 + t} \right) \cdot 0,51 \cdot 10^{-3}$$

Dimana :

t = Usia beton dalam hari saat susut dihitung

k_s = Factor koreksi (pada table buku ajar kuliah)

k_h = Factor koreksi yang terkait dengan nilai k_s

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{sh}}{\sigma_{si}}$$

c. Rangkak (Creep)

Akibat beban tetap dan merupakan fungsi waktu.

$$\Delta f_{sh} = E_s \varepsilon_{cr} \rightarrow \varepsilon_{cr} = C_c \left[\frac{f_{ci}}{E_c} \right]$$

$$C_c = 3,5k \left(1,58 - \frac{H}{120} \right) t_i^{-0,118} \cdot \left(\frac{(t - t_i)^{0,6}}{10 + (t - t_i)^{0,6}} \right)$$

Dimana :

C_c = Creep Coefficient

H = Kelembaman relative dalam %

K = Koefisien

t_i = Usia beton pada saat transfer tegangan (hari)

t = Usia beton l saat rangkak dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{scr}}{\sigma_{si}}$$

Bersumber pada baja :

a. Relaksasi baja

Proses kehilangan tegangan tendon pada regangan tetap

$$\Delta f_{rel} = f_{si} \cdot \frac{\log(t)}{10} \left(\frac{f_{si}}{f_y} - 0,55 \right)$$

Dimana : f_{si} = Tegangan tendon akibat T_i

f_y = Tegangan leleh baja

K = Koefisien

T = Usia beton saat relaksasi dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{rel}}{\sigma_{si}}$$

b. Angker Slip (pada saat Post-tension)

$$\Delta f_{AS} = \frac{\Delta_A}{L} E_s$$

Dimana : Δ_A = Besarnya angker slip (mm), biasa = 6mm

E_s = Modulus elastisitas baja prategang (Mpa)

L = Panjang tendon (mm)

c. Gelombang dan geseran (pada saat Post-tension)

Kehilangan tegangan karena posisi tendon dalam duct yang tidak lurus, serta geseran antara tendon dengan duct.

$dP = \mu \cdot Pd \cdot \alpha + K \cdot Pd \cdot x \rightarrow$ kehilangan tegangan

$$P_B = P_A \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + K \cdot Pd \cdot x)}$$

Dimana :

P_A = Gaya prategang pada ujung jack (KN)

P_B = Gaya prategang setelah kehilangan tegangan (KN)

X = Panjang duct yang ditinjau (M)

μ = Koefisien geseran tendon dan duct, tergantung jenis Tendon dan duct.

K = koefisien gelombang (per meter)

α = Sudut kelengkungan tendon.

12. Diafragma

Diafragma merupakan balok melintang yang terletak diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma.

Untuk perhitungan momen sesuai dengan desain penampang beton bertulang.

Untuk perhitungan diafragma adalah sebagai berikut:

$$d = h - p - D_{\text{sengkang}} - 0,5 D_{\text{tul. pokok}}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2}$$

$$\frac{Mu}{b * d^2} = 0,8 \rho f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$A_s = \rho b d$$

2.8. Struktur Bawah (Sub Structure)

Bangunan bawah merupakan bagian jembatan yang menerima beban dari bangunan atas ditambah tekanan tanah dan gaya tumbukan dari perlintasan di bawah jembatan, yang kemudian menyalurkannya ke tanah dasar.

Struktur bawah jembatan meliputi :

1. Pangkal Jembatan (Abutment)

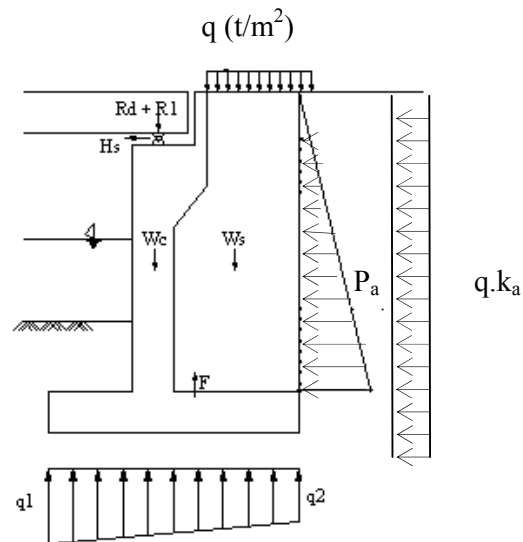
Abutment dan pilar pada dasarnya memiliki fungsi sebagai berikut :

- Sebagai penyalur beban dari bagian atas jembatan ke bagian pondasi jembatan.
- Apabila kondisi tanah stabil, maka abutment dapat memiliki fungsi sebagai pondasi yang menopang bagian atas jembatan.
- Sebagai dinding penahan tanah

Konstruksi abutment harus mampu mendukung beban-beban yang bekerja, yang meliputi :

- Beban mati akibat bangunan atas (gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, sandaran, perkerasan, dan air hujan)
- Beban mati akibat bangunan bawah (berat sendiri abutment, berat tanah timbunan, dan gaya akibat tekanan tanah)
- Beban hidup akibat bangunan atas (beban merata dan beban garis)
- Beban sekunder (gaya rem, gaya gempa, dan gaya gesekan akibat tumpuan yang bergerak)

Berikut Gambar 2.9 merupakan gambar gaya – gaya yang bekerja pada abutment :



Gambar 2.9. Gaya-gaya yang Bekerja pada abutment

Keterangan Gambar 2.9:

- R_l = beban hidup akibat bangunan atas (t/m)
 R_d = beban mati akibat bangunan atas (t/m)
 H_s = gaya horisontal akibat beban sekunder (t/m)
 q = beban pembebanan (1 t/m²)
 P_a = gaya tekanan tanah (t/m)
 W_c = beban mati akibat berat sendiri abutment (t/m)
 W_s = beban mati akibat berat tanah timbunan (t/m)
 F = gaya angkat (t/m)
 q_1, q_2 = reaksi pada tanah dasar (t/m²)

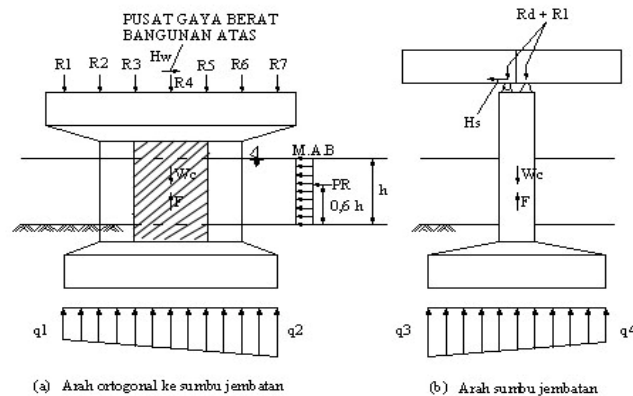
2. Pilar Jembatan

Pilar jembatan berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas pada pondasi.

Konstruksi pilar harus mampu mendukung beban-beban :

- Beban mati akibat bangunan atas (gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, sandaran, perkerasan, dan air hujan)
- Beban mati akibat bangunan bawah (berat sendiri pilar jembatan)
- Beban hidup akibat bangunan atas (beban merata dan beban garis)
- Beban sekunder (gaya rem, gaya gempa, gaya akibat aliran air dan tumbukan benda-benda hanyutan)

Berikut Gambar 2.10 merupakan gaya – gaya yang bekerja pada pilar jembatan:



Gambar 2.10. Gaya-gaya yang bekerja pada pilar jembatan

Keterangan Gambar 2.10 :

(a) Arah ortogonal ke sumbu jembatan

R_1-R_7 : reaksi balok utama (akibat beban hidup dan beban mati dari bangunan atas) (t)

W_c : beban mati akibat berat sendiri pilar (t)

PR gaya sekunder akibat tekanan air pada pilar (t)

F : gaya angkat keatas (t)

q_1, q_2 : reaksi tanah (t/m^2)

(b) Arah sumbu jembatan

R_d : beban mati akibat kerja bangunan atas (t)

- Rl : beban hidup akibat kerja bangunan atas (t)
 Hs : gaya horisontal akibat beban sekunder (t)
 q_3, q_4 : reaksi tanah (t/m²)

3. Pondasi

Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban-beban terpusat dari bangunan bawah ke dalam tanah pendukung dengan cara sedemikian rupa, sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur secara keseluruhan. Evaluasi pondasi dilakukan dengan membandingkan beban-beban yang bekerja terhadap dimensi pondasi dan daya dukung tanah dasar (*Teknik Pondasi 1, 2002*).

Beban-beban yang bekerja pada pondasi meliputi :

- a) Beban terpusat yang disalurkan dari bangunan bawah
- b) Berat merata akibat berat sendiri pondasi
- c) Beban momen.

Pondasi yang bisa dipilih dalam suatu perencanaan jembatan adalah:

- a) Pondasi Dangkal (Pondasi Telapak)

Hitungan kapasitas dukung maupun penurunan pondasi telapak terpisah dan diperlukan untuk kapasitas dukung ijin (q_a).

Perancangan didasarkan pada momen-momen tegangan geser yang terjadi akibat tekanan sentuh antara dasar pondasi dan tanah. Oleh karena itu besar distribusi tekanan sentuh pada dasar pondasi harus diketahui. Dalam analisis, dianggap bahwa pondasi sangat kaku dan tekanan pondasi didistribusikan secara linier pada dasar pondasi. Jika resultan berimpit dengan pusat berat luasan pondasi, tekanan dasar pondasi dapat dianggap disebarkan sama ke seluruh luasan pondasi. Pada kondisi ini, tekanan yang terjadi pada dasar pondasi adalah:

$$q = \frac{P}{A}$$

dengan :

q = tekanan sentuh (tekanan pada dasar pondasi, kN/m²)

P = beban vertikal (kN)

A = luasan dasar pondasi (m²)

Jika resultan beban-beban eksentris dan terdapat momen lentur yang harus didukung pondasi, momen-momen (M) tersebut dapat digantikan dengan beban vertikal (P) yang titik tangkap gayanya pada jarak e dari pusat berat pondasi dengan:

$$e = \frac{M}{P}$$

Bila beban eksentris 2 arah, tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x y_0}{I_x} \pm \frac{M_y x_0}{I_y} \dots\dots\dots \text{persamaan } *$$

Dengan :

q = tekanan pada dasar pondasi pada titik (x₀,y₀)

P = jumlah tekanan

A = luas dasar pondasi

M_x,M_y = berturut-turut, momen terhadap sumbu x, sumbu y

I_x,I_y = momen inersia terhadap sumbu x dan sumbu y.

x₀ = jarak dari titik berat pondasi ketitik dimana tegangan kontak dihitung sepanjang respektif sumbu y.

y₀ = jarak dari titik berat pondasi ketitik dimana tegangan kontak dihitung sepanjang respektif sumbu x.

Untuk pondasi yang berbentuk persegi panjang, persamaan * dapat diubah menjadi:

$$q = \frac{P}{A} \left[1 \pm \frac{6e_L}{L} \pm \frac{6e_B}{B} \right]$$

dengan e_x=e_L dan e_y=e_B berturut-turut adalah eksentrisitas searah L dan B, dengan L dan B berturut-turut adalah panjang dan lebar pondasi.

Besarnya daya dukung *ultimate* tanah dasar dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_{ult} = c.N_c + \gamma.D_f.N_q + 0,5.\gamma.B.N_\gamma$$

dimana :

- σ_{ult} = daya dukung *ultimate* tanah dasar (t/m^2)
- c = kohesi tanah dasar (t/m^2)
- γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)
- B = lebar pondasi (meter)
- D_f = kedalaman pondasi (meter)
- N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi

Besarnya daya dukung ijin tanah dasar :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{ult}}{SF}$$

dimana :

- σ_{ijin} = daya dukung ijin tanah dasar (t/m^2)
- σ_{ult} = daya dukung *ultimate* tanah dasar (t/m^2)
- SF = faktor keamanan (SF=3 biasanya dipakai jika $C > 0$)

Hasil evaluasi terhadap kegagalan yang terjadi pada pondasi dijadikan dasar untuk menentukan langkah-langkah penanganan yang tepat, dengan memperhatikan faktor-faktor keamanan, kenyamanan, kemudahan pelaksanaan, dan ekonomi.

b) Pondasi Dalam

Terdiri dari beberapa macam yaitu :

1) Pondasi sumuran

- (a) Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran
- (b) Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air dan longsor tanah
- (c) Diameter sumuran $\geq 1,50$ meter
- (d) Cara galian terbuka tidak disarankan
- (e) Kedalaman dasar pondasi sumuran harus dibawah gerusan maksimum

(f) Biasanya digunakan sebagai pengganti pondasi tiang pancang apabila lapisan pasir tebalnya > 2,00 m dan lapisan pasirnya cukup padat.

(g) Menentukan daya dukung pondasi:

$$\begin{aligned} \text{Rumus: } P_{ult} &= R_b + R_f \\ &= Q_{db} \cdot A_b + f_s \cdot A_s \end{aligned}$$

dimana:

P_{ult} = daya pikul tiang

R_b = gaya perlawanan dasar

R_f = gaya perlawanan lekat

Q_{db} = point bearing capacity

f_s = lekatan permukaan

A_b = luas ujung (tanah)

A_s = luas permukaan

(h) Persamaan teoritis

Rumus

$$P_u = nR^2 (1,3 * C * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0,6 * \gamma * R * N_\gamma) + 2\pi * R * D_f * \alpha * C_s$$

dimana:

c = kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)

C_s = rata – rata kohesi sepanjang D_f

D_f = kedalaman pondasi (meter)

N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi

D_f = kedalaman sumur (m)

R = jari – jari sumuran

2) Pondasi bore pile

(a) Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran

(b) Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air dan longsoran tanah

(c) Diameter bor pile $\geq 0,50$ meter

(d) Rumus:

$$P_u = \frac{9 * C_b * A_b + 0,5 * \pi * d * C_s * L_s}{F_s}$$

Dimana:

C_b = koehesi tanah pada base

A_b = luas base

d = diameter pile

C_s = cohesion pada selubung pile

L_s = panjang selubung pile

F_s = 2,5 – 4,0

3) Pondasi tiang pancang

Merupakan jenis pondasi dengan tiang yang dipancang ke dalam tanah untuk mencapai lapisan daya dukung tanah rencana dengan ketebalan tanah lunak > 8 meter dari dasar sungai terdalam atau dari permukaan tanah setempat dan dalam hal jika jenis pondasi sumuran diperkirakan sulit dalam pelaksanaan.

Dasar perhitungan dapat didasarkan pada daya dukung persatuan tiang maupun daya dukung kelompok tiang.

Persyaratan teknik pemakaian pondasi jenis ini adalah :

- (a) Kapasitas daya dukung tiang terdiri dari point bearing serta tahanan gesek tiang.
- (b) Lapisan tanah keras berada > 8 meter dari muka tanah setempat atau dari dasar sungai terdalam.
- (c) Jika gerusan tidak dapat dihindari yang dapat mengakibatkan daya dukung tiang dapat berkurang, maka harus diperhitungkan pengaruh tekuk dan reduksi gesekan antara tiang dan tanah sepanjang kedalaman gerusan.
- (d) Jarak as tiang tidak boleh kurang dari 3 kali garis tengah tiang yang dipergunakan.
- (e) Daya dukung ijin dan factor keamanan

Rumus:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{F_k}$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{F_{k1}} - \frac{Q_s}{F_{k2}}$$

Dimana:

Q_u = daya dukung *ultimate* tiang

Q_p = daya dukung ujung (*ultimate*)

Q_s = daya dukung selimut (*ultimate*)

W_p = berat tiang

Adapun tinjauan perhitungan pada pondasi tiang pancang adalah :

1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal

a . Kekuatan bahan tiang.

$$P \text{ tiang} = a'_{\text{bahan}} \times A \text{ tiang}$$

b. Daya dukung tanah dari data sondir

1) Rumus Boegemenn

$$P_{all} = \frac{q_c * A}{3} + \frac{K * TF}{5}$$

Dimana :

A = Luas tiang beton

K = Keliling tiang

TF = JHP = total friction

$Q_c = \frac{1}{2} (q_{cu} + q_{cb})$ = point bearing capacity

2) Rumus Mayerhoff

$$P_{ult} = (q_c \cdot A_b + \gamma_s \cdot A_s)$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{3}$$

A_b = luas penampang tiang

A_s = luas selimut tiang

γ_s = total friction

q_c = qonus resistance rata –rata 4D di alas ujung tiang dan 1D di bawah tiang

3) Rumus Bala Subramanian

$$P_{all} = \frac{b * q_c * A}{F_k} + \frac{a * K * TF}{F_k}$$

Dimana :

Qc = nilai konus

TF = total friction

A = luas penampang tiang

K = keliling penampang tiang

Tabel 2.8. Nilai a dan b pada penggunaan rumus Subramanian

Jenis Pondasi	a				b	
	Clay lunak	Clay med	Clay keras	Pasir	Clay	Pasir
Pancang	1	0,70	0,50	0,80	0,33	0,50
Bor	1	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65

Sumber : Pondasi Tiang Pancang, Ir. Sardjono HS

c. Daya dukung tanah dari data Standar Penetration Test (SPT)

$$P_{utt} = (40 N_b A_b) + (0,2 \cdot N \cdot A_s)$$

Dimana :

P_{utt} = Daya dukung batas pondasi (ton)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_b = Luas penampang dasar tiang (m²)

N = Nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (m²)

2. Perhitungan daya dukung kelompok tiang (pile grup)

a. Metode Converse - Labarre

Berdasarkan efisiensi kelompok tiang bor "Persamaan Converse - Labarre" akibat pemasangan secara group:

$$E = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right]$$

Dimana :

$$\phi = \tan^{-1} \frac{D}{S}$$

D = diameter tiang pancang

S = jarak antara tiang pancang

b. Metode Feld

$$Q_t = \eta \times Q_{\text{tiang}}$$

Nilai efisiensi pile grup (η) pada metode ini tergantung dari jumlah dan formasi letak dari susunan penempatan tiang pada footing.

3. Beban kelompok tiang yang menerima beban sentries dan momen bekerja pada dua arah (Biaxial bending)

$$P_{\max} = \frac{\sum P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{\max}}{n_x * \sum y^2} \pm \frac{M_y * X_{\max}}{n_y * \sum x^2}$$

Dimana :

P_{\max} = Beban max yang diterima 1 tiang (tunggal)

$\sum P_v$ = Jumlah beban vertikal

M_x = Momen arah x

M_y = Momen arah y

Y_{\max} = jarak terjauh tiang ke pusat berat tiang

n_x = Banyak tiang dalam satu babs arah x

n_y = Banyak tiang dalam satu babs arah y

Check : $P_{\max} \leq P_{\text{eff}} \dots \dots \text{Aman}$

4. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang ditinjau berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan.

a. Kondisi 1 (Pengangkatan 1 titik)

b. Kondisi 2 (Pengangkatan 2 titik)

Dari kedua model pengangkatan diatas dipilih Momen yang terbesar untuk perencanaan penulangan. Penulangan sama dengan perhitungan beton bertulang diatas.

2.8.1. Penurunan

Istilah penurunan menunjukkan tenggelamnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah dibawah bangunan. Penurunan (*settlement*)

akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*Immediate Settlement*) dan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Secara umum penurunan pada tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

2.8.1.1. Penurunan seketika / *Immediately Settlement*

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ($S_r \% < 90\%$).

Rumus penurunan seketika dikembangkan berdasarkan teori elastis, sebagai berikut :

$$S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_w$$

Dimana :

q = besarnya tegangan kontak

B = lebar pondasi

I_w = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi

μ = angka poisson's ratio

E_s = sifat elastisitas tanah

$$q_{ekstrim} = R/A \pm My/Wy + Mx/Wx + \gamma \cdot x \cdot d$$

Dimana :

$q_{ekstrim}$ = besarnya tegangan

$R = \sum P$ = resultante beban vertikal

$A = B \times L$ = luas bidang pondasi

$My = \sum P \cdot x$ = momen total sejajar respektif terhadap sumbu y

$Mx = \sum P \cdot y$ = momen total sejajar respektif terhadap sumbu x

$Wy = 1/6 L B^3$ = momen inersia respektif terhadap sumbu y

$Wx = 1/6 L B^3$ = momen inersia respektif terhadap sumbu x

γ = berat isi beton

d = tebal plat pondasi

Dalam perhitungan penurunan seketika diperlukan faktor pengaruh bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w), angka poisson ratio (μ), dan sifat elastisitas tanah (E_s), yang dapat dilihat pada Tabel 2.9, Tabel 2.10, dan Tabel 2.11.

Tabel 2.9.

Faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekakuan pondasi (I_w)

	Flexible			Rigid	
	Shape	Center	Average	I_w	I_m
Circle	1.0	0.04	0.85	0.88	6.0
Square	1.12	0.56	0.95	0.82	3.7
Rectangle:					
L/B = 0.2	-	-	-	-	2.29
0.5	-	-	-	-	3.33
1.5	1.36	0.68	1.15	1.06	4.12
2.0	1.53	0.77	1.30	1.20	4.38
5.0	2.10	1.05	1.83	1.70	4.82
10.0	2.54	1.27	2.25	2.10	4.93
100.0	4.01	2.00	3.69	3.40	5.00

Sumber : Rekayasa fondasi II, Penerbit Gunadarma

Tabel 2.10. Angka poisson' s Ratio (μ) menurut jenis tanah

Macam tanah	μ
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4-0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4-0,7$)	0,25
batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

Sumber : Mekanika Tanah II

Tabel 2.11. Nilai Sifat Elastisitas Tanah (Es) menurut jenis tanah

	Es	
	ksf	Mpa
Clay		
Very soft	50 – 250	2 – 15
Soft	100 – 500	5 – 25
Medium	300 – 1000	15 – 50
Hard	1000 – 2000	50 - 100
Sandy	500 - 5000	25 – 250
Glacial till		
Loose	200 – 3200	10 – 153
Dense	3000 – 15000	144 – 720
Very dense	10000 – 30000	478 – 1440
Loess	300 – 1200	14 – 57
Sand		
Silty	150 – 450	7 - 21
Loose	200 – 500	10 – 24
Dense	1000 – 1700	48 – 81
Sand and Gravel		
Loose	1000 – 3000	48 – 144
Dense	2000 – 4000	96 – 192
Shale	3000 – 3000000	144 – 14400
Silt	40 - 400	2 - 20

Sumber : Rekayasa fondasi II, Penerbit Gunadarma

2.8.1.2. Penurunan Konsolidasi / Consolidation Settlement

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi yang besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ($S_r = 100\%$) atau yang mendekati jenuh ($S_r = 90\%-100\%$) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga $K \leq 10^{-6}$ m/s.

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori konsolidasi satu arah (one way) yang pertama kali untuk tanah lempung jenuh air. Teori ini menyajikan cara penentuan distribusi kelebihan tekanan hidrostatis dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu setelah bekerjanya beban. Beberapa asumsi dasar dalam analisis konsolidasi satu arah antara lain : tanah bersifat homogen, derajat kejenuhan tanah 100 % (jenuh sempurna), partikel/butiran tanah dan air bersifat inkompresibel (tak termampatkan), arah pemampatan dan aliran air pori terjadi hanya dalam arah vertical. Ketebalan lapisan tanah yang diperhitungkan adalah setebal lapisan tanah jenuh air yang ditinjau.

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

a. Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi ketika gradient tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu.

Penurunan konsolidasi primer dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1) Tanah normal konsolidasi

Apabila lengkungan bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada di atasnya (P_o), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam.

Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan/settlement pada kondisi tanah normal konsolidasi, adalah sebagai berikut :

$$P_c \leq P_o$$

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} \cdot t_{primer}$$

$$T_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot U^2$$

Dimana :

S_{cp} = penurunan / settlement (cm)

C_c = indeks kompresi tanah

e_o = angka pori

$T_v = t_{total}$ = waktu perencanaan

t_{primer} = waktu terjadinya penurunan konsolidasi

H = tebal lapisan tanah

C_v = koefisien konsolidasi (cm² / detik)

U = derajat konsolidasi

ΔP = tambahan tegangan

P_o = effective overburden layer

P_c = preconsolidation pressure

2) Tanah over konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari P_o , maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami over konsolidasi.

Tanah over konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang. Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam perhitungan penurunan / settlement pada kondisi tanah over konsolidasi, adalah sabagai berikut :

$$P_c > P_o$$

$$S_{cp} = \frac{C_r \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Dimana :

ΔP = tambahan tegangan

P_o = effective overburden layer

C_r = compression index pada kondisi over konsolidasi

H = tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

P_c = preconsolidation pressure

b. Penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi terjadi. Penurunan sekunder didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada saat terdapatnya tekanan pori yang berlebih pada lapisan yang ditinjau (atau pada contoh di laboratorium). Pada tanah yang jenuh tidak akan mungkin terdapat pengurangan angka pori tanpa terbentuknya sejumlah tekanan pori yang berlebih. Tingkat penurunan sekunder biasanya sedemikian sangat rendah sehingga tekanan pori yang berlebih tidak dapat diukur. Tekanan sekunder merupakan penyesuaian kerangka tanah yang berlangsung untuk beberapa saat lamanya sesudah tekanan pori yang berlebih menghilang. Karena itu, penurunan sekunder tergantung pada waktu dan dapat berlangsung untuk waktu yang lama bahkan sampai ratusan tahun.

Penurunan akibat konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{cs} = \frac{C_a \cdot H}{1 + e_o} \left(\log \frac{t_{total} + t_{primer}}{t_{primer}} \right)$$

Dimana :

S_{cs} = penurunan / settlement (cm)

E_o = angka pori

H = tebal lapisan tanah

C_a = indeks pemampatan sekunder

Jadi penurunan total (S_t) yang terjadi adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs}$$

Dimana :

S_t = penurunan total

S_i = penurunan seketika

S_{cp} = penurunan konsolidasi primer

S_{cs} = penurunan konsolidasi sekunder

2.9. Perencanaan Alinyemen Vertikal Oprit

Alinyemen vertikal adalah perubahan dari satu kelandaian ke kelandaian lain dilakukan dengan menggunakan lengkung vertikal. Jenis lengkung vertikal dilihat dari letak titik perpotongan kedua bagian lurus (tangen), yaitu :

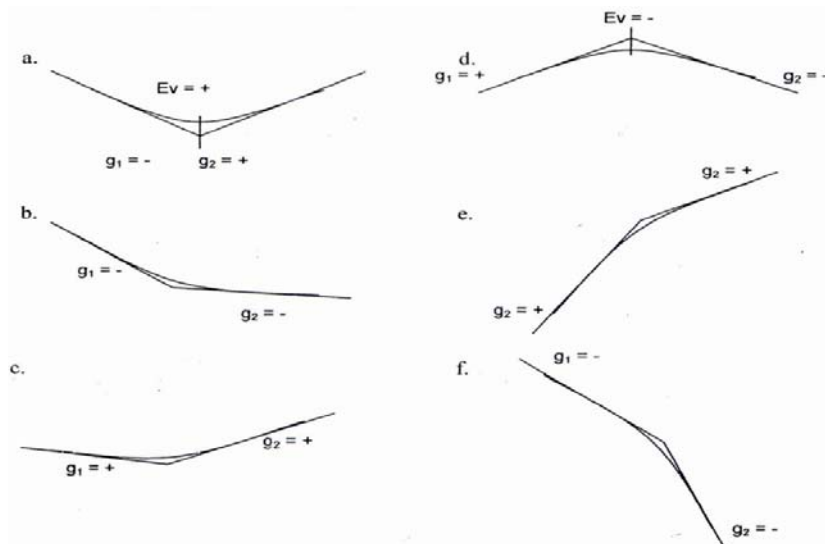
a) Lengkung vertikal cekung

Adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di bawah permukaan jalan.

b) Lengkung vertikal cembung

Adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di atas permukaan jalan yang bersangkutan.

Macam – macam lengkung vertikal ini dapat terlihat pada Gambar 2.12. Dengan point a, b, c adalah lengkung vertikal cekung dan point d, e, f adalah lengkung vertikal cembung.



Lengkung Vertikal cekung

Lengkung Vertikal cembung

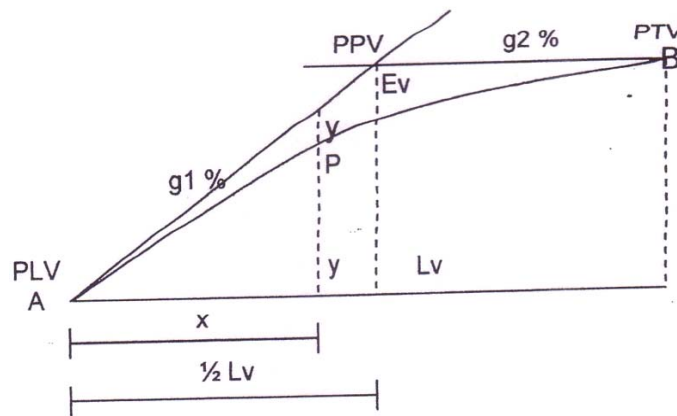
Gambar 2.11. Macam - Macam Lengkung Vertikal

Besarnya lengkung vertikal adalah :

$$\begin{aligned}
 E_v &= \frac{A \cdot L_v}{800} \\
 &= \frac{|g_2 - g_1|}{800} \cdot L_v
 \end{aligned}$$

dimana $|g_2 - g_1|$ = selisih kelandaian mutlak (harga +)

L_v = Panjang lengkung vertikal



Gambar 2.12. Lengkung Vertikal

Panjang lengkung vertikal untuk bentuk cembung tergantung pada :

- a) Jarak pandang henti atau menyiap
- b) Kebutuhan akan drainase
- c) Kebutuhan kenyamanan perjalanan

Sedangkan panjang lengkung vertikal untuk bentuk cembung tergantung pada :

- a) Jarak penyinaran lampu kendaraan
- b) Jarak pandangan bebas di bawah bangunan
- c) Persyaratan drainase
- d) Kenyamanan pengemudi
- e) Keluwesan bentuk

2.10. Perencanaan Struktur Perkerasan Oprit

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

Jenis konstruksi perkerasan terdiri atas :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Bahan pengikat pada konstruksi perkerasan ini adalah aspal dengan sifat lapisan memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Struktur perkerasan lentur terdiri atas :

a. Lapis permukaan (*surface course*)

Fungsi dari lapis permukaan adalah :

1. sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda.
2. sebagai lapis kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. sebagai lapisan aus.

b. Lapis pondasi (*base course*)

Fungsi dari lapis pondasi adalah :

1. menahan beban roda dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya.
2. sebagai lantai kerja bagi lapis permukaan.
3. sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.

c. Lapis pondasi bawah (*subsurface course*)

Fungsi dari lapis pondasi bawah adalah :

1. menahan dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. mencapai efisiensi penggunaan material.
3. sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.
4. mencegah agar tanah dasar tidak masuk ke dalam struktur perkerasan.

d. Tanah dasar (*sub grade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakkan bagian perkerasan lainnya. Pematatan harus dilakukan secara baik agar tidak terjadi penurunan yang tidak merata akibat beban lalu lintas.

Data-data yang dibutuhkan untuk perencanaan suatu perkerasan lentur adalah:

- a. Data LHR
- b. CBR tanah dasar
- c. Data untuk penentuan faktor regional

Setelah didapat data – data tersebut diatas maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan Faktor Regional (FR)

Faktor regional adalah faktor setempat yang menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan. Dengan memakai parameter curah hujan, kelandaian jalan dan prosentase kelandaian berat maka didapat nilai FR seperti pada Tabel 2.12 berikut ini :

Tabel 2.12.
Faktor Regional

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

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

2. Menghitung dan menampilkan jumlah komposisi lalu lintas harian rata-rata LHR awal rencana.

3. Menghitung angka ekuivalen

Yaitu angka yang menyatakan jumlah lintasan sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Harga masing-masing kendaraan dihitung dengan memakai rumus

a. Angka ekuivalen sumbu tunggal

$$E = (\text{beban 1 sumbu tunggal} / 8,16)^4$$

b. Angka ekuivalen sumbu ganda

$$E = 0,086 (\text{beban 1 sumbu ganda} / 8,16)^4$$

4. Menghitung lintas ekuivalen permulaan

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Rumus :

$$LEP = C \times LHR_{\text{awal}} \times E$$

Keterangan :

C = Koefisien distribusi kendaraan

LHR_{awal} = Lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana

E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan

5. Menghitung Lintas Ekuivalen Akhir

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana.

Rumus :

$$LEA = C \times LHR_{akhir} \times E$$

Keterangan :

C = Koefisien distribusi kendaraan

LHR_{akhir} = Lalu lintas harian rata-rata

E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan

6. Menghitung Lintas Ekuivalen Tengah

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada tengah rencana.

Rumus :

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

Keterangan :

LEA = Lintas Ekuivalen Akhir

LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan

7. Menghitung Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

Suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana.

Rumus :

$$\begin{aligned} LER &= LET \times (UR/10) \\ &= LET / FP \end{aligned}$$

Keterangan :

FP = Faktor penyesuaian

LET = Lintas Ekuivalen Tengah

UR = Umur Rencana

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

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

Dari nilai CBR yang diperoleh ditentukan nilai CBR rencana yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk suatu jalur tertentu dengan cara sebagai berikut :

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

9. Indeks Permukaan

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

Besarnya Indeks Permukaan dapat dilihat dalam Tabel 2.13 berikut ini :

Tabel 2.13.
Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 - 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 - 2,0	2	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2	2,0 - 2,5	-
> 1000	-	2,0 - 2,5	2,5	2,5

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

Sedangkan dalam penentuan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana. Berikut Tabel 2.14 merupakan Indeks Permukaan pada awal umur rencana :

Tabel 2.14.
Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (I Po)

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness (Mm/Km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	-
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	-

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

10. Menghitung Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

Yaitu angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan, Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dapat dicari dengan menggunakan nomogram sesuai yang terdapat pada buku petunjuk perencanaan perkerasan jalan metode analisa komponen yang masing-masing nomogram dipakai berdasarkan nilai IP dan IPo. Berdasarkan CBR tanah dasar, dengan menarik garis lurus antara nilai daya dukung tanah (DDT), dan harga LER maka didapat nilai ITP, kemudian garis dihubungkan lagi dengan nilai faktor regional (FR) sehingga diperoleh ITP.

Rumus :

$$ITP = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2) + (a_3 \times D_3)$$

dimana :

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_1, D_2, D_3 = tebal minimum masing-masing perkerasan.

Koefisien kekuatan relatif dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut ini:

Tabel 2.15.
Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
0,2	-	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu Pecah (klas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu Pecah (klas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu Pecah (klas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu / pitrun (klas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu / pitrun (klas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu / pitrun (klas C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah / Lempung kepasiran

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku merupakan pelat beton tipis yang di cor diatas suatu campuran pondasi. Bahan pengikat pada perkerasan kaku adalah *Portland Cement* dengan sifat lapisan plat beton sebagai pemikul sebagian besar beban lalu lintas.

Tebal perkerasan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

a. Menghitung LHR hingga akhir umur rencana

b. Menghitung jumlah kendaraan niaga

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

Keterangan :

JKN : Jumlah Kendaraan Niaga

JKNH : Jumlah Kendaraan Niaga Harian

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas yang besarnya tergantung pada faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) dan umur rencana (n)

$$(1) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} \rightarrow \text{Untuk } i \text{ konstan selama umur rencana (n) } i \neq 0$$

$$(2) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} + (n-m)(1-i)^{m-1} \rightarrow \text{Setelah } m \text{ tahun}$$

pertumbuhan lalu lintas tidak terjadi lagi

$$(3) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} + \frac{(1+i)^m [(1+i)^{n-m} - 1]}{e \log(1-i)} \rightarrow \text{Setelah waktu tertentu}$$

pertumbuhan lalu lintas berbeda dengan sebelumnya.

n tahun pertama $\rightarrow 1, i \neq 0$

m tahun pertama $\rightarrow 1, i \neq 0$

c. Menghitung prosentase masing-masing kombinasi konfigurasi beban sumbu terhadap jumlah sumbu kendaraan niaga harian (JSKNH).

d. Hitung jumlah repetisi kumulatif tiap-tiap kombinasi konfigurasi/beban sumbu pada jalur rencana.

$$JSKN \times \% JSKNH_i \times C \times FK$$

Keterangan :

JSKN = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

JSKNH = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

JSKNHi = Kombinasi terhadap JSKNH

C = Koefisien distribusi

FK = Faktor keamanan beban sumbu yang sesuai dengan penggunaan jalan

Faktor koefisien distribusi (C) dapat dilihat pada Tabel 2.16

Tabel 2.16.
Koefisien Distribusi

Jumlah Lajur	Kendaraan Niaga	
	1 Arah	2 Arah
1 Lajur	1	1
2 Lajur	0,7	0,5
3 Lajur	0,5	0,475
4 Lajur	0,5	0,45
5 Lajur	0,5	0,425
6 Lajur	0,5	0,40

Sumber : SKBI 2.3.28.1998

Untuk Faktor Keamanan beban sumbu yang sesuai dengan pengguna jalan besarnya adalah :

- 1) Jalan tol : FK = 1.20
- 2) Jalan Arteri : FK = 1.10
- 3) Kolektor/lokal : FK = 1.00

e. Kekuatan tanah dasar/ *Subgrade* yaitu dengan mengitung modulus reaksi subgrade = $k_{rencana}$

$$kr = \bar{k} - 2S \quad \rightarrow \text{Jalan Tol}$$

$$kr = \bar{k} - 1.64S \quad \rightarrow \text{Jalan Arteri}$$

$$kr = \bar{k} - 1.28S \quad \rightarrow \text{Jalan Kolektor/lokal}$$

$$FK = \frac{S}{\bar{k}} \times 100\% \quad \rightarrow \text{FK : Faktor keseragaman} < 25\%$$

$$\bar{k} = \frac{\sum k}{n} \quad \rightarrow \text{Modulus reaksi tanah dasar rata-rata dalam suatu seksi jalan}$$

$$S = \sqrt{\frac{n(\sum k^2) - (\sum k)^2}{n(n-1)}} \quad \rightarrow \text{Standar deviasi}$$

Keterangan :

kr = Modulus reksi tanah dasar yang mewakili satu seksi

\bar{k} = Modulus reaksi tanah dasar rata-rata dalam suatu seksi jalan

k = Modulus reaksi tanah dasar tiap titik di dalam seksi jalan

n = Jumlah data k

f. Menghitung Kekuatan Beton

Kekuatan beton untuk perancangan tebal perkerasan beton semen untuk masing – masing standar yang berlaku yaitu :

$$\text{SNI T-15-1991-03} : f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

$$\text{ACI 318-83} : f_r = 0,62\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

f_r = Kuat lentur tarik beton (MPa)

f'_c = Kuat tekan karakteristik beton usia 28 hari (MPa)

g. Perencanaan Tulangan dan sambungan

Dalam merencanakan tulangan dan sambungan, perlu diperhatikan jenis perkerasan kakunya.

Berikut cara perhitungan tulangan berdasarkan masing- masing jenis perkerasan kaku :

1. Penulangan pada perkerasan beton bersambung

$$A_s = \frac{1200xFxLxh}{f_s}$$

Keterangan :

A_s = Luas tulangan yang dibutuhkan cm^2/m lebar

F = Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi di bawahnya

L = Jarak sambungan (m)

h = Tebal pelat yang ditinjau

f_s = Tegangan tarik baja (kg/cm^2)

Bila $L \leq 13 \text{ m} \rightarrow A_s = 0,1 \% \times h \times b$

2. Penulangan pada perkerasan beton menerus

$$P_s = \frac{100fb}{(f_y - nfb)}(1,3 - 0,2F)$$

Keterangan :

Ps = Prosentase tulangan memanjang terhadap penampang beton

fb = Kuat tarik beton (0,4 – 0,5 MR)

fy = Tegangan leleh baja

n = Ey/Eb → modulus elastisitas baja/beton

F = Koefisien gesek antara pelat dan pondasi

Ps min = 0,6 %

h. Kontrol terhadap jarak retakan kritis

Dalam perencanaan perkerasan kaku sangat mungkin terjadinya retakan pada plat beton. Untuk itu jarak antar retakan kritisnya dihitung dengan cara :

$$Lcr = \frac{fb^2}{n.p^2.u.fp(S.Eb - fb)}$$

Keterangan :

Lcr = Jarak antara retakan teoritis

Fb = Kuat tarik beton (0,4 – 0,5 MR)

n = Ey/Eb → modulus elastisitas baja/beton

p = Luas tulangan memanjang (m²)

u = 4/d (Keliling/Luas tulangan) → $\frac{\pi d}{\frac{1}{4}\pi d^2}$

fp = Tegangan lekat antara tulangan dengan beton

$$= 2,16 \sqrt{\frac{\sigma_{bk}}{d}}$$

S = Koefisien susut beton (400 x 10⁶)

Eb = Modulus elastisitas beton = 16600 $\sqrt{\sigma_{bk}}$

