

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Studi pustaka adalah sebuah telaah atau pembahasan suatu materi yang didasarkan pada buku referensi yang bertujuan memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk perhitungan berupa rumus-rumus, ada beberapa aspek yang perlu ditinjau dan mempengaruhi dalam perancangan jembatan, antara lain :

- a. Aspek transportasi
- b. Aspek hidrologi
- c. Aspek tanah
- d. Aspek topografi
- e. Aspek konstruksi jembatan
- f. Aspek Pembebanan

2.2 ASPEK TRANSPORTASI

Transportasi adalah suatu kegiatan pemindahan penumpang dan barang dari suatu tempat ke tempat lain, yang dalam hal ini memiliki unsur pergerakan (*movement*) dan secara fisik terjadi perpindahan tempat atas barang atau penumpang dengan alat angkut. Transportasi memerlukan sarana dan prasarana. Sarana merupakan alat untuk memindahkan barang atau penumpang, sedangkan prasarana berkaitan dengan penunjang alat (sarana) tersebut. Aspek transportasi yang tercakup dalam Tugas Akhir dengan judul “Alternatif Desain Jembatan Kali Juweh Dengan Beton Prategang” yaitu transportasi darat.

2.2.1 Transportasi Darat

Dalam perencanaan suatu jembatan aspek transportasi darat merupakan aspek utama yang harus diperhitungkan karena fungsi utama jembatan itu sendiri adalah untuk melayani kebutuhan transportasi antara dua tempat (darat) yang terpisahkan oleh kondisi topografi. Pada jembatan kali Juweh aspek transportasi hanya terbatas pada aksesibilitas jembatan tersebut terhadap jalan-jalan yang ada sebelumnya, karena pembangunan jembatan kali Juweh bukan didasarkan kepada *traffic demand* tetapi lebih kepada usaha untuk evakuasi korban bencana gunung Merapi dan membangkitkan mobilitas pada daerah yang dihubungkan antara Selo-Muntilan.

2.2.2 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, atau smp/hari/1 lajur atau kendaraan/hari/1 arah untuk jalan berlajur banyak dengan median.

2.2.3 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Untuk dapat menghitung LHRT harus tersedia data jumlah kendaraan yang terus menerus selama 1 tahun penuh. Mengingat akan biaya yang diperlukan dan membandingkan dengan ketelitian yang dicapai serta tak semua tempat di Indonesia mempunyai data volume lalu lintas selama 1 tahun, maka untuk kondisi tersebut dapat pula dipergunakan satuan 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 waktu yang cukup menggambarkan fluktuasi lalu lintas selama 1 tahun dan hasil LHR yang dipergunakan adalah harga rata-rata dari perhitungan LHR beberapa kali.

2.2.4 Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp)

Ekuivalensi mobil penumpang yaitu faktor dari berbagai tipe kendaraan sehubungan dengan keperluan waktu hijau untuk keluar dari antrian apabila dibandingkan dengan sebuah kendaraan ringan. Untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya nilai emp adalah 1,0. Sedangkan nilai emp untuk masing-masing kendaraan untuk jalan luar kota dua lajur-dua arah tak terbagi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Ekuivalensi Kendaraan Penumpang (emp) untuk Jalan 2/2 UD

Tipe alinyemen	Arus total (kend/jam)	emp					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar jalur lalu lintas (m)		
< 6 m	6 – 8 m	> 8 m					
Datar	0	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	≥ 1900	1,3	1,5	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0	1,8	1,6	5,2	0,7	0,5	0,3
	650	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	≥ 1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0	3,5	2,5	6,0	0,6	0,4	0,2
	450	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4
	900	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3
	≥ 1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, hal 6-44

2.2.5 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 :

$$Q = k \times LHRT$$

Dimana Q adalah volume jam perencanaan dan k adalah faktor pengubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak.

2.2.6 Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan metode “Regresi Linier” merupakan metode penyelidikan terhadap suatu data statistik dalam hal ini didasarkan pada metode nol bebas. Adapun rumus persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y' = a + b X$$

Dimana :

- Y' = besar nilai yang diramal
- a = nilai trend pada nilai dasar
- b = tingkat perkembangan nilai yang diramal
- X = unit tahun yang dihitung dari periode dasar

Perkiraan (*forecasting*) lalu lintas harian rata-rata yang ditinjau dalam waktu 5, 10, 15 atau 20 tahun mendatang setelah waktu peninjauan berlalu, maka pertumbuhan lalu lintas ditinjau kembali untuk mendapatkan pertumbuhan lalu lintas

yang akan datang. Perkiraan perhitungan pertumbuhan lalu lintas ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung perencanaan kelas jembatan yang ada pada jalan tersebut. Untuk lebih jelas tentang perkembangan lalu lintas pada ruas tersebut maka dibuat grafik hubungan antara tahun dan lalu lintas harian rata-rata (LHR).

Perkembangan lalu lintas tiap tahun dirumuskan :

$$LHR_n = LHR_o \times (1 + i)^n$$

$$i = 100 \% \times \sqrt[n]{(LHR_n / LHR_o) - 1} \quad [\%]$$

Persamaan trend : $Y' = a + bX$

$$I \quad \sum Y = n \times a + b \times \sum X$$

$$II \quad \sum XY = a \times \sum X + b \times \sum X^2$$

Dari hasil perhitungan di atas maka diperoleh a dan b dalam bentuk konstanta yang dimasukkan rumus "Regresi Linier" sebagai berikut :

$$Y' = a + bX$$

Sehingga perkiraan LHR selama umur rencana (UR) dapat diperhitungkan.

2.2.7 Klasifikasi Jalan

Jalan dibagi dalam beberapa kelas yang penempatannya berdasarkan pada fungsi dan volume lalu lintas. Dalam "Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota Tahun 1997", klasifikasi dan fungsi jalan dibedakan seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

FUNGSI	KELAS	Lalu Lintas Harian Rata-Rata (SMP)
Utama	I	> 20000
Sekunder	II A	6000 – 20000
	II B	1500 – 8000
	II C	< 2000
Penghubung	III	-

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometri Jalan Antar Kota Tahun 1997

2.2.8 Kapasitas Jalan

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang/jam (smp/jam), dengan persamaan dasar :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

Dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

C₀ = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_W = faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{SP} = faktor penyesuaian akibat pemisahan arah

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

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, halaman 6-64

2.2.9 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu lintas pada suatu simpang dan juga 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/jam)

C = kapasitas jalan (smp/jam)

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, halaman 6-18

2.2.10 Umur Rencana Jembatan

Umur perencanaan jembatan merupakan kehandalan jembatan untuk memberikan tingkat pelayanan yang optimal selama jangka waktu tertentu biasanya diambil 50 tahun. Umur rencana jembatan mencapai 50 tahun yang berarti selama jangka waktu 50 tahun jembatan yang direncanakan harus mampu melayani beban-beban yang bekerja.

2.3 ASPEK HIDROLOGI

Aspek hidrologi memegang peranan penting dalam perencanaan suatu jembatan, diantaranya adalah untuk menentukan dimensi penampang sungai yang nantinya digunakan untuk menentukan panjang jembatan yang direncanakan dan tinggi muka air banjir.

2.3.1 Curah Hujan

Untuk mencari besarnya curah hujan pada periode ulang tertentu digunakan rumus *Gumbel* :

$$X_{Tr} = X + (Kr \times Sx)$$

Dimana :

X_{Tr} = besar curah hujan untuk periode ulang tertentu (mm)

X = curah hujan maksimum rata-rata tahun pengamatan (mm)

$Kr = 0,78 \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right\} - 0,45$; dengan Tr adalah periode ulang (tahun)

Sx = standar deviasi

2.3.2 Debit Banjir Rencana

Untuk mencari debit banjir digunakan rumus :

$$Q = \frac{CIA}{3,6}$$

Dimana : $I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{2/3}$

$$Tc = \frac{L}{V}$$

$$V = 72 \times \left(\frac{H}{L} \right)^{0,6}$$

Q = debit pengaliran (m^3/dt)

C = koefisien *run off*

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

R_{24} = curah hujan (mm)

tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (km)

V = kecepatan perjalanan banjir (km/jam)

H = beda tinggi antara titik terjauh DPS dan titik peninjauan (m)

2.3.3 Kedalaman Penggerusan

Untuk menentukan kedalaman penggerusan digunakan formula *Lacey* :

$$\text{Untuk } L < W \rightarrow d = H \times \left(\frac{L}{W}\right)^{0,6}$$

$$\text{Untuk } L > W \rightarrow d = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f}\right)^{0,333}$$

Dimana :

- L = bentang jembatan (m)
- W = lebar alur sungai (m)
- d = kedalaman gerusan normal dari muka air banjir maksimum
- H = tinggi banjir rencana
- Q = debit maksimum (m³/dt)
- f = faktor lempung

Sedangkan kedalaman penggerusan berdasarkan tabel yang diambil dari DPU Bina Marga Propinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Kedalaman Penggerusan

Kondisi Alam	Penggerusan Maksimal
Aliran lurus	1,27 d
Aliran belok	1,5 d
Aliran belok tajam	1,75 d
Belokan sudut lurus	2 d
Hidung pilar	2 d

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

Tabel 2.4 Faktor Lempung *Lacey*

Tipe Material	Diameter (m)	Faktor (f)
Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,4
Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,12	0,8
Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,0
Pasir (<i>medium sand</i>)	0,505	1,25
Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,725	1,5
Kerikil (<i>heavy sand</i>)	0,29	2,0

2.4 ASPEK TANAH (*SOIL MECHANICS & SOIL PROPERTIES*)

Dari penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium , dihasilkan beberapa besaran-besaran tanah tertentu yang sangat penting untuk

mengidentifikasi jenis tanah dan sifat-sifat tanah pada lokasi pembangunan jembatan yang bersangkutan. Dalam perencanaan jembatan, pengidentifikasian sifat tanah meliputi pengidentifikasian terhadap besaran-besaran tanah yang menyangkut perencanaan terhadap beberapa elemen struktural jembatan, yaitu :

2.4.1. Aspek Tanah Dengan Pondasi

Tanah harus mampu untuk menahan pondasi beserta beban-beban yang dilimpahkan ke pondasi tersebut. Dalam hubungan dengan perencanaan pondasi, besaran-besaran tanah yang harus diperhitungkan adalah daya dukung tanah dan dalamnya lapisan tanah keras.

- Untuk menentukan dalamnya lapisan tanah keras, dilakukan test sondir. Dari test sondir ini akan didapatkan data-data tanah berupa grafik tekanan konus, grafik hambatan pelekat setempat. Grafik ini sebagai pedoman untuk menentukan jenis pondasi dan dalamnya.
- Daya dukung tanah diperlukan untuk mengetahui kemampuan tanah tersebut 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.

2.4.2. Aspek Tanah Dengan Abutmen

Dalam perencanaan abutment dan pilar jembatan data-data tanah yang dibutuhkan berupa data-data sudut geser, kohesi dan berat jenis tanah yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah horisontal 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 di atas abutment dikalikan dengan berat jenis dari tanah itu sendiri.

2.4.3. Aspek Tanah Dengan Dinding Penahan

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

2.4.4. Aspek Tanah Dengan Oprit

Oprit adalah bangunan penghubung berupa jalan antara jalan utama dengan jembatan. Oprit tersebut terdiri dari beberapa lapisan yaitu base course, subbase course dan surface course dimana dalam tiap lapisan ketebalannya ditentukan dari nilai California Bearing Ratio (CBR).

Aspek tanah sangat menentukan terutama dalam penentuan struktur bawah (*sub structure*) yaitu abutment, *pier*, dan pondasi. Untuk abutment, *pier*, dan pondasi yang digunakan, kedalaman serta dimensinya. Selain itu juga untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan tanah.

2.4 ASPEK TOPOGRAFI

Aspek topografi yang diperhitungkan dalam perencanaan jembatan kali Juweh yaitu lebih kepada topografi pegunungan, karena keadaan topografi pegunungan yang ada merupakan variabel yang sangat menentukan dalam perencanaan konstruksi pilar jembatan. Peta topografi bertujuan untuk memberikan informasi atau data tentang selisih ketinggian suatu lahan. Banyak informasi dapat diambil dari peta topografi tersebut.

Dari data topografi yang didapat bisa digunakan untuk menentukan bentang jembatan yaitu berdasarkan kedalaman lembah sehingga bias menghemat biaya dari pendeknya struktur pilar jembatan.

2.5 ASPEK KONSTRUKSI JEMBATAN

2.5.1 Baja

Struktur baja merupakan struktur yang jarang dijumpai pada pembangunan di Indonesia. Selain disebabkan karena mahalnya bahan baja, struktur ini juga mempunyai masalah lain yaitu lendutan yang cukup besar. Material baja yang digunakan sampai era tahun 1960 berupa *Carbon steel* dengan tegangan leleh sekitar 230 MPa. Saat ini baja yang digunakan sebagai elemen struktur memiliki mutu yang jauh lebih tinggi sehingga penampang baja yang digunakan dapat diperkecil. Baja di pasaran saat ini dapat mencapai tegangan leleh sampai 750 MPa.

Jembatan kali Juweh *existing* menggunakan konstruksi baja pada struktur atas. Perhitungan kekuatan masing-masing elemen dilakukan dengan bantuan penggunaan program SAP, dengan metode *trial error* dicari dimensi masing-masing struktur yang paling efektif.

Analisa perhitungan sambungan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan diameter baut dan baja
2. Menghitung syarat jarak

$$e' > 1,5d$$

$$c \geq 2d$$

$$6d \geq a \geq 3d$$

3. Menentukan jumlah kolom baut dengan metode *trial error*
4. Menghitung titik pusat gaya baut

$$e = c + 0,5a$$

5. Menghitung Momen total

$$M_{total} = M_u + D_u \cdot e$$

6. Menghitung gaya horizontal akibat Momen total

$$PH = \frac{M_{total} \times y_1}{4 \times nk(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2)}$$

$$y_i = \frac{h}{2} - (e' \cdot i)$$

7. Menentukan jumlah baut pada satu sisi sambungan (*nb*)
8. Menghitung gaya normal dan lintang per baut

$$N_h = N / nb$$

$$D_v = D_u / nb$$

9. Menghitung resultan gaya luar

$$R = \sqrt{(PH + N_h)^2 + D_v^2}$$

10. Pengecekan tegangan

$$\tau_{geser} = \frac{R}{0,25\pi d^2} \leq \tau_{ijin} = 0,8\sigma_{ijin}$$

$$\sigma_{desak} = \frac{R}{\delta l} \leq \sigma_{desak ijin} = 2 \sigma_{ijin}$$

$$\delta = \text{tebal plat disambung (cm)}$$

Selain konstruksi baja, terdapat pula komposit baja dan beton yang diterapkan pada penumpuannya. Pertimbangan penggunaan komposit ini adalah karena balok komposit akan memberikan efek kekuatan yang lebih baik, tegangan lentur, tekan maupun tarik, serta dari segi biaya akan lebih ditekan daripada penggunaan struktur baja seluruhnya.

Elemen struktur komposit adalah elemen konstruksi yang terbentuk oleh kerjasama dua bahan yang sama maupun berbeda dengan memanfaatkan sifat menguntungkan dari masing-masing bahan tersebut, sehingga kombinasinya akan

menghasilkan elemen struktur yang lebih efisien. Pada pekerjaan jembatan kali Juweh menggunakan komposit baja dan beton. Faktor yang penting pada aksi komposit adalah lekatan antara baja dengan beton harus tetap ada.

Kelebihan baja :

- Mempunyai kekuatan tarik yang tinggi
- Modulus elastisitas yang tinggi
- Daktilitas tinggi

Kelebihan beton :

- Lebih tahan api
- Mudah dibentuk
- Relatif murah
- Baik terhadap tekan

Sebelum merencanakan balok komposit, kita melakukan analisa perhitungan secara manual tentang perhitungan pengaku (*stiffness*) pada profil. Perhitungan kebutuhan pengaku (*stiffness*) diperlukan untuk mendefinisikan dimensi material, agar material bersifat *solid* saat memodelkan profil pada program SAP. Urutan perhitungan perencanaan pengaku adalah sebagai berikut.

1. Menghitung momen ultimit (M_u)
2. Menentukan ketinggian gelagar :

$$H = \frac{1}{12} - \frac{1}{15} L$$

3. Menentukan tebal badan

$$\frac{h}{tw} = \frac{6480}{\sqrt{\sigma}}$$

4. Menghitung luas sayap

$$A_f = \frac{M}{\sigma \cdot h} - \frac{Aw}{6}$$

5. Menghitung momen inersia

$$I_x = I_x \text{ badan} + I \text{ sayap} + A_f \cdot y^2$$

6. Menghitung momen tahanan

$$W_x = \frac{I}{C} ; \text{ dengan } C = \frac{1}{2} h + t_f$$

7. Kontrol tegangan

$$\sigma < \bar{\sigma}$$

8. Kontrol lendutan

$$\delta < \bar{\delta}$$

9. Syarat pengaku

$$\frac{h}{tw} \leq 260 \quad , \quad \tau = fy \frac{Cv}{2,89} \quad , \quad \tau = \frac{D}{Aw}$$

dimana :

$$Cv = \frac{112500.k}{(fy(h/tw))}$$

$$k = 4,0 + 5,34 / (a/h)^2 \text{ untuk } a/h \leq 1$$

$$k = 5,34 + 4,0 / (a/h)^2 \text{ untuk } a/h \geq 1$$

10. Jarak pengaku

$$a / h \leq 3$$

$$0,5 < a / h \leq (260 / (h / t))^2$$

Perencanaan perhitungan balok komposit :

1. Menghitung momen ultimit (M_u)
2. Menaksir dimensi profil
3. Menghitung lebar efektif beton
 $b_e = l / 4$
 b_e = jarak antar balok
Pilih harga b_e yang terkecil
4. Menghitung lebar baja ekivalen
 b_e / n ; dengan $n = E_s / E_c$
5. Menghitung garis tengah ekivalen (y, y_b, y_t)
6. Menghitung momen inersia komposit (I_k)
7. Menghitung momen tahanan
 $S_t = I_k / y_t$
 $S_b = I_k / y_b$
Pilih harga S yang terkecil
8. Cek kapasitas penampang
 $M_x = \sigma \cdot S_b > M_u$
9. Cek tegangan
 σ lentur ($\sigma < \sigma_{ijin}$)
 $\sigma_{top conc} = (M_D + M_L) / n \cdot W_{top}$
 $\sigma_{top steel} = \{((M_D + M_L) / W_{top})(Y_{top} - h_{conc})\} / Y_{top}$

$$\sigma_{\text{bottom steel}} = (M_D + M_L) / W_{\text{bottom}}$$

$$\tau_{\text{geser}} (\tau < \tau_{\text{ijin}})$$

$$\tau = D / A_w$$

10. Cek kekakuan

$$\delta < \delta_{\text{ijin}}$$

11. Menentukan jumlah stud

$$V_{h_{\text{conc}}} = \frac{0,85 f'c \cdot b \cdot e \cdot i}{FS}$$

$$V_{h_{\text{steel}}} = \frac{A_s \cdot F_y}{FS}$$

$$Q_{\text{ijin}} = 0,0005 \cdot A_s \sqrt{f'c \cdot E_c} \text{ , dengan } E_c = 4700 \sqrt{f'c}.$$

$$\text{Jumlah} = \frac{V_h}{Q_{\text{ijin}}}$$

2.5.2 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material yang paling banyak dipilih dalam mendesain bangunan. Dimana beton bertulang sendiri terdiri dari bahan beton dan baja. Umumnya mutu beton yang banyak digunakan adalah beton mutu normal namun dengan kemajuan teknologi, kuat tekan beton dapat ditingkatkan hingga melebihi 40 MPa sehingga diperoleh beton mutu tinggi. Peningkatan mutu beton memberikan beberapa keuntungan antara lain dimensi balok atau kolom dapat diperkecil dan struktur menjadi lebih ringan, kekurangannya adalah sifatnya yang kurang daktil dibandingkan beton mutu normal.

Penggunaan konstruksi beton bertulang pada pekerjaan jembatan kali Juweh adalah pekerjaan plat lantai, *abutment* dan pada pondasi sumuran. Pekerjaan plat lantai merupakan pekerjaan struktur atas (*Upper structure*) sedangkan pekerjaan abutment dan pondasi sumuran merupakan pekerjaan struktur bawah (*Sub structure*). Keuntungan penggunaan beton dalam konstruksi adalah awet, kokoh, tahan api serta lebih murah biayanya baik dari segi material maupun segi pelaksanaan pekerjaan, sedangkan kekurangan penggunaan beton dalam konstruksi adalah kurang dalam menahan gaya tarik serta daktilitas yang lebih rendah dari material baja.

2.5.2.1 Plat Lantai

Plat lantai atau *slab* merupakan suatu konstruksi yang melintang pada balok. Pada proyek kali Juweh plat lantai diasumsikan terjepit pada keempat sisinya. Plat lantai tidak monolit dengan balok, hal ini karena struktur balok terbuat dari baja. Plat lantai direncanakan mampu menahan beban mati dan beban hidup pada waktu pelaksanaan konstruksi maupun pada waktu dioperasikan, serta berfungsi sebagai diafragma untuk menjaga kestabilan konstruksi, atau dapat disimpulkan fungsi plat lantai sebagai berikut :

- Memisahkan ruang bangunan secara horizontal.
- Menahan beban yang bekerja padanya
- Menyalurkan beban ke balok di bawahnya

Tahapan perencanaan penampang plat (VIS, W.C. dan Kusuma, Gideon : CUR 1, Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, 1994, halaman 92-93).

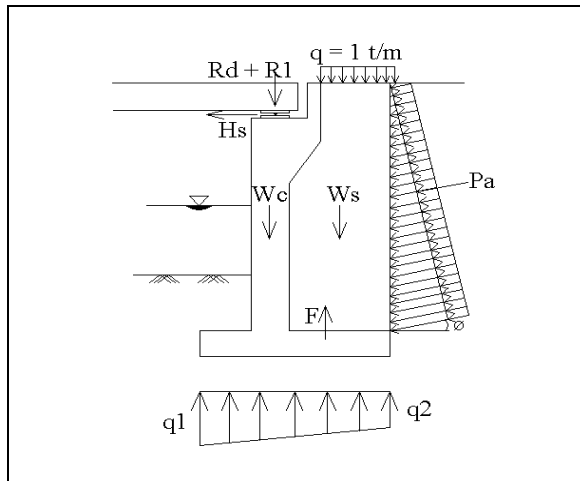
1. Tentukan syarat-syarat batas dan bentang : l_y / l_x
2. Tentukan tebal plat : $h_{min} = 0.05l$
3. Hitung beban-beban : $W_u = 1,2W_D + 1,6W_L$
4. Tentukan Momen : $m_{lx}, m_{ly}, m_{tx}, m_{ty}$
5. Hitung tulangan :
 $dx = h - p - 0,5 \varnothing_{dx}$
 $dy = h - p - \varnothing_{dx} - 0,5 \varnothing_{dy}$
 $M = M_u$
 $M_u / b.d^2$
 $Pb, \rho_{min}, \rho_{max}$
 $A_{st} = \rho.b.d^2.10^6$
6. Pilih tulangan

2.5.2.2 Abutmen (Pangkal Jembatan)

Abutment berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi dengan fungsi tambahan untuk mengadakan peralihan tumpuan dari timbunan jalan pendekat ke bangunan atas jembatan. Konstruksi abutment harus mampu mendukung beban-beban yang bekerja, yang meliputi :

- Beban mati akibat bangunan atas yaitu gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, trotoar, sandaran, perkerasan dan air hujan.
- Beban hidup akibat bangunan atas yaitu beban merata, beban garis dan beban hidup pada trotoir.

- Beban mati akibat bangunan bawah yaitu berat sendiri abutment, berat tanah timbunan dan gaya akibat tekanan tanah.
- Beban sekunder berupa gaya rem, gaya gempa dan gaya gesekan akibat tumpuan yang bergerak.



Gambar 2.1 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Abutment

Dimana :

- Rd = beban mati akibat bangunan atas (t/m)
- R1 = beban hidup akibat bangunan bawah (t/m)
- q = beban pembebanan (1 t/m)
- Hs = gaya horizontal akibat beban sekunder (t/m)
- Wc = beban mati akibat berat sendiri abutment (t/m)
- Ws = beban mati akibat berat tanah timbunan (t/m)
- Pa = gaya tekanan tanah (t/m)
- F = gaya angkat (t/m)
- q1, q2 = reaksi pada tanah dasar (t/m²)

Dalam perencanaan ini, struktur bawah jembatan berupa *abutment* yang dapat diasumsikan sebagai dinding penahan tanah. Dalam hal ini perhitungan *abutment* meliputi :

1. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang abutmen serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.
2. Menentukan pembebanan yang terjadi pada abutmen :
 - a. Beban mati berupa gelagar induk, lantai jembatan, *trottoar*, perkerasan jembatan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.
 - b. Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di *trottoar*.

- c. Beban sekunder berupa beban gempa, tekanan tanah aktif, rem dan traksi, koefisien kejut, beban angin dan beban akibat aliran dan tumbukan benda – benda hanyutan.
3. Menghitung momen, gaya normal dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban - beban yang bekerja.
4. Mencari dimensi tulangan dan cek apakah abutment cukup memadai untuk menahan gaya - gaya tersebut.
5. Ditinjau juga kestabilan terhadap *sliding* dan bidang runtuh tanah.
6. Ditinjau juga terhadap Settlement (penurunan tanah).

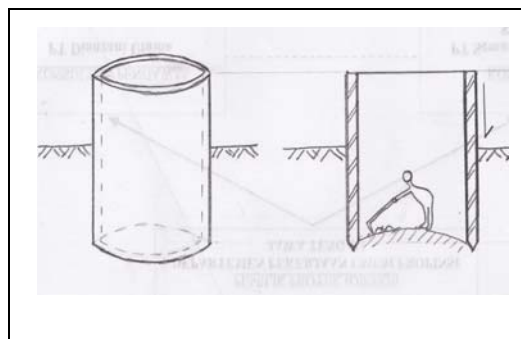
2.5.2.3 Pondasi Sumuran

Pondasi menyalurkan beban-beban terpusat dari bangunan bawah ke dalam tanah pendukung dengan cara demikian rupa sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur keseluruhan. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, pada Jembatan kali Juweh jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi sumuran.

Perencanaan pondasi sumuran dipakai bila tanah dasar tidak dalam, sehingga pemakaian pondasi dangkal memakan biaya besar karena penggalian tanah terlalu besar (banyak) dan pengeringan air tanah membutuhkan biaya besar.

Pondasi sumuran kadang-kadang dipakai sebagai pengganti pondasi tiang pancang untuk lapisan tanah yang mempunyai lapisan pasir cukup padat dengan tebal 1,00 meter. Apabila tiang pancang ditumbukkan pada lapisan ini tiang tidak dapat masuk dan menyebabkan longsor yang sangat besar. Untuk tanah keras dan bangunan berat dipakai pondasi sumuran.

Umumnya pondasi sumuran yang kecil dibuat dari beton dengan bentuk lingkaran, sedangkan bentuk persegi jarang dipakai kecuali untuk pondasi yang besar dan diturunkan dengan memakai tekanan dan bantuan orang didalamnya.

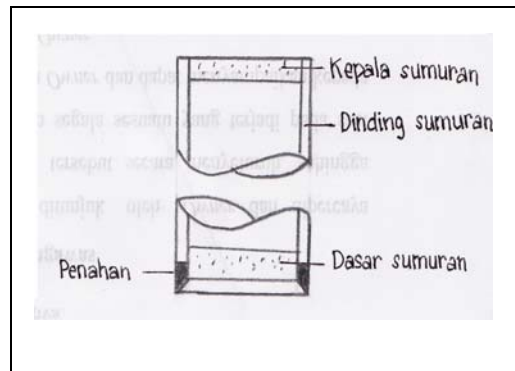


Gambar 2.2 Pondasi Sumuran

Dibagian bawah pondasi sumuran dibuat agak runcing dan bila perlu diberi perkuatan dari besi. Hal ini untuk memudahkan penggalian atau penurunan. Karena pondasi sumuran akan diturunkan maka dinding pondasi sumuran tidak boleh terlalu tipis atau lemah agar tidak pecah akibat tekanan tanah atau air di sekelilingnya.

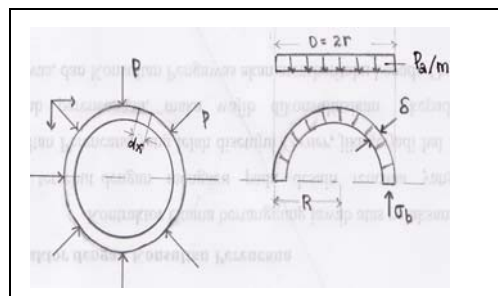
Bagian penting dalam mendesain pondasi sumuran :

- a. Penahan dan ujung bawah pondasi sumuran
- b. Tebal dinding pondasi sumuran
- c. Sambatan dasar pondasi sumuran
- d. Kepala pondasi sumuran



Gambar 2.3 Bagian-Bagian Pondasi Sumuran

Menentukan tebal cincin :



Gambar 2.4 Tebal Cincin Pondasi Sumuran

$$\sigma_b = \frac{P_a \times D}{2S} \dots\dots \text{untuk beton tidak bertulang.}$$

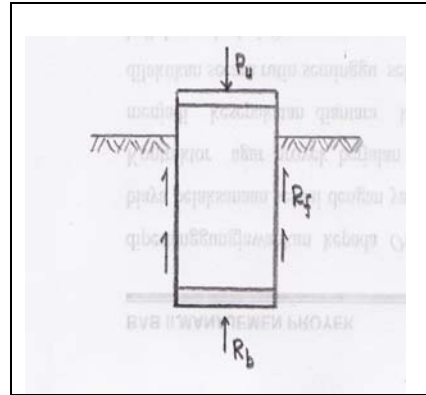
$$\sigma_b = \frac{P_a \times D}{F_b + n F_y} \dots\dots \text{untuk beton bertulang}$$

Menentukan Daya Dukung Pondasi :

$$P_{ult} = R_b + R_f \\ = (q_b \times A_b) + (f_s \times A_s)$$

Dimana :

- P_{ult} = daya pikul tiang
 R_b = gaya perlawanan dalam
 R_f = gaya perlawanan luar
 q_b = point *Bearing Capacity*
 f_s = lekatan permukaan
 A_b = luas ujung
 A_s = luas permukaan



Gambar 2.5 Daya Dukung Pondasi

2.5.3 Beton Prategang

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkannya 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 sistem 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 dan
- Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton prategang :

- Konstruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
- Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat *erection* 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 :

2.5.3.1 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:

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

Secara umum perbedaan dari sistem penegangan diatas adalah :

***Pre-tensioning* :**

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

***Post-tensioning* :**

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

2.5.3.2 Tegangan Yang Diijinkan

1. 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 . $\sqrt{f'_{ci}}$

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

2.5.3.3 Perhitungan Pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya sesuai dengan *SNI T-02-2005*.

2.5.3.4 Perencanaan Dimensi Penampang

Untuk pendimensian struktur atas (*upper structure*) penampang mengacu pada standar produksi dalam hal ini standart dari WIKA Beton

2.5.3.5 Perencanaan Tegangan Penampang

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

1. Keadaan awal

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

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

2. Keadaan akhir

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

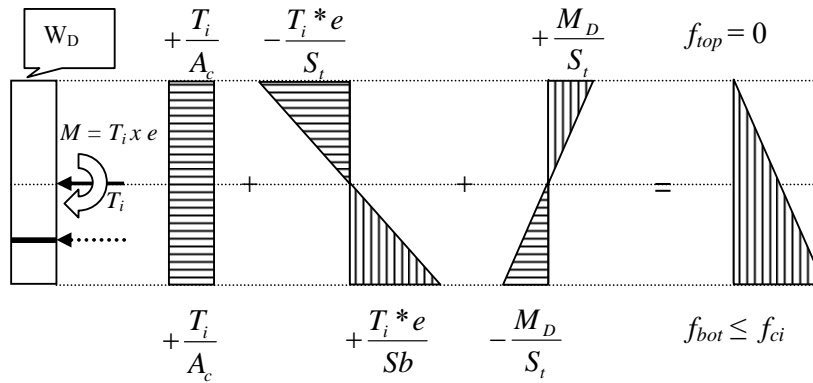
$$f_{top} \leq f_c \quad \text{dan} \quad f_{bott} = 0$$

Dengan e dan M_D pada penampang kritis :

1. Kondisi awal

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

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

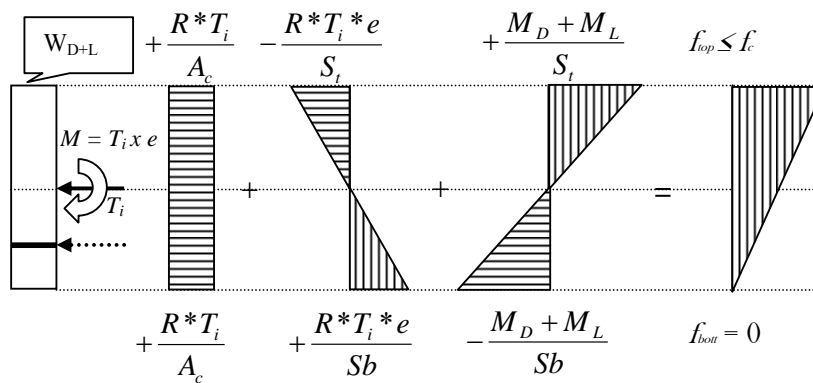


Gambar 2.6 Diagram Tegangan Pada Kondisi Awal

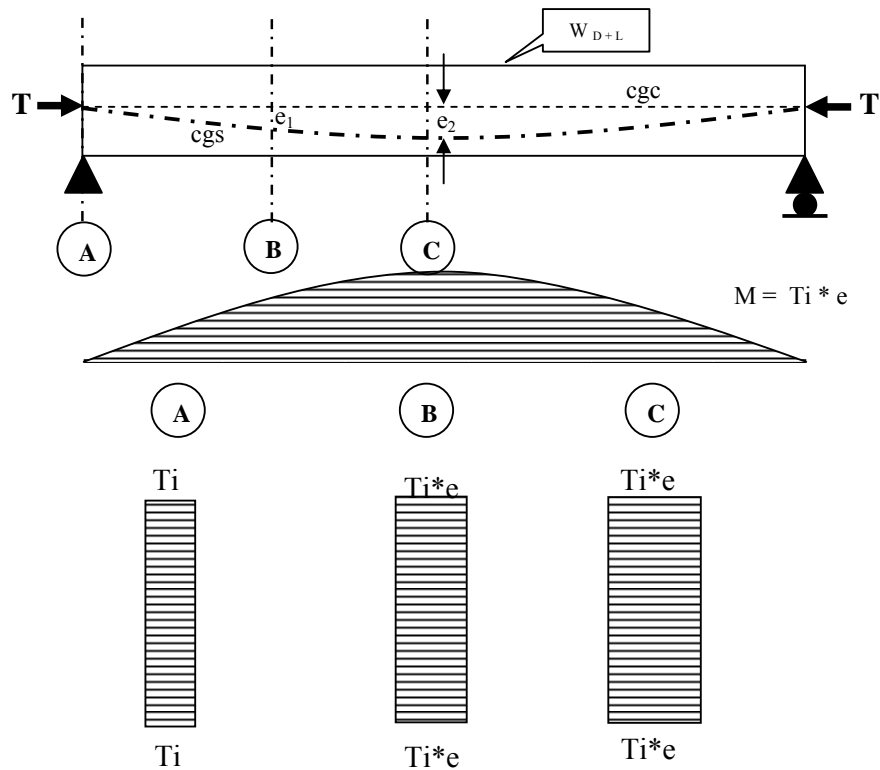
2. Kondisi akhir

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

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



Gambar 2.7 Diagram Tegangan Pada Kondisi Akhir



Gambar 2.8 Diagram Tegangan

2.5.3.6 Layout Tendon Terhadap Analisa Penampang Kritis

Perhitungan yang disyaratkan :

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

1. 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 ; $f_b = f_{ci}$

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

2. Kondisi akhir

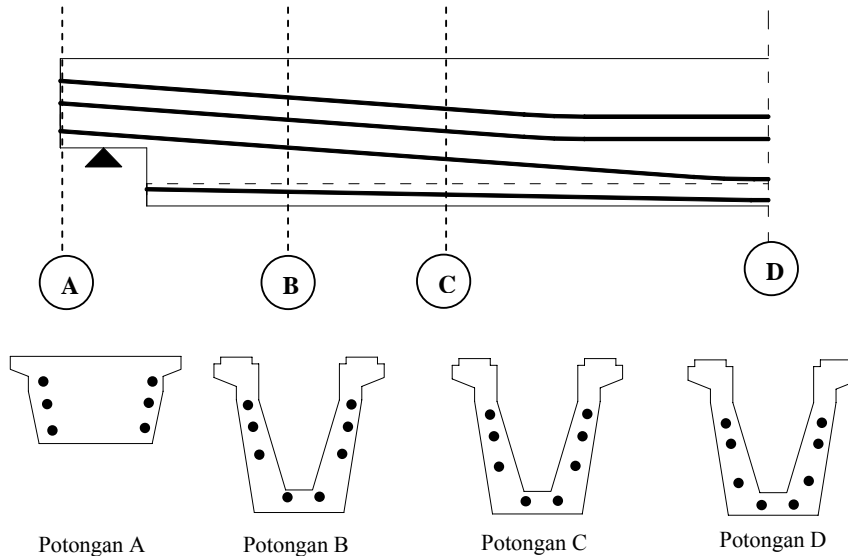
Tegangan pada serat atas ; $f_t = f_c$

$$e_3 = \frac{S_t}{R * T_i} (-f_c + R * f_{cgc}) + \frac{M_D + M_L}{R * T_i}$$

Tegangan pada serat bawah ; $f_b = -f_t$

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

Didapat nilai e_t pada masing-masing tendon, plotkan dengan gambar berskala dan diperoleh layout tendon yang digunakan.



Gambar 2.9 Layout Tendon

2.5.3.7 Pemilihan Tendon

Pemilihan jenis, diameter, jumlah *strands*, angker blok dan *duck* 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_{ti}) sesuai dengan perencanaan untuk dapat mempertahankan gaya tarik tersebut.

2.5.3.8 End Block

- Propertis penampang
- Tegangan *Bearing Zone*

Kadaan awal :

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

Kadaan akhir :

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

dimana : Ab = luas bidang pelat angker (mm^2)
 Ac = luas bidang penyebaran (mm^2)

- Tegangan pada beton

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

- *Burshing Force (R)*

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

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

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

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

2.5.3.9 Perhitungan Geser

1. Pola Retak karena Gaya Lintang (*Shear Compression Failure*)

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

$$V_{cr} = (0,33 \sqrt{f'_c}) \times \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \sqrt{f'_c}}}$$

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

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

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

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

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

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

dimana : f_{pe} = tegangan pada serat bawah pada L/4
 e = eksentrisitas tendon pada L/4

Momen retak akibat lentur murni :

$$M_{cr} = f_b * S_b \dots\dots f_b = f_{tr} + f_{pe} \dots\dots f_{tr} = 0,5 * \sqrt{f'_c}$$

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

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 cgs sampai serat teratas (mm)

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

3. Penulangan Geser

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

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

$$V = V_c + 0,4 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$V = V_c + 0,35 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$V_c = V_{cw}$ atau V_{ci} dipilih nilai yang terbesar
 $V < V_{min} \dots\dots\dots$ diperlukan tulangan geser minimum
 $V_{max} \geq V \dots\dots\dots$ penampang cukup untuk menahan geser

2.5.3.10 Perhitungan Lendutan

$$E = 4700 * \sqrt{f'_c}$$

1. Lendutan akibat berat sendiri balok

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

2. Lendutan akibat beban hidup

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

3. Lendutan akibat gaya pratekan

Gaya pratekan awal

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

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

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

4. Lendutan gaya pratekan efektif

$$M = T_i \cdot e$$

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

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

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

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

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

2.5.3.11 Perhitungan Kehilangan Tegangan

Bersumber pada beton :

1. Perpendekan Elastis

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

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

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

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

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

2. Susut (*Shrinkage*)

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

dimana : t = usia beton dalam hari pada saat susut dihitung

k_s = faktor koreksi (pada tabel buku ajar kuliah)

k_h = faktor koreksi yang terkait dengan nilai k_s

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

3. Rangkak (*Creep*)

Akibat beban tetap dan merupakan fungsi waktu.

$$\Delta f_{scr} = E_s \cdot \epsilon_{cr} \rightarrow \epsilon_{cr} = C_c \left(\frac{f_{ci}}{E_c} \right)$$

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

dimana : C_c = *Creep Coefficient*

H = kelembaman relative dalam %

K = koefisien

t_i = usia beton pada saat transfer tegangan (hari)

t = usia beton i saat rangkak dihitung (hari)

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

Bersumber pada baja:

1. 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)

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

2. Angker slip (pada saat *Post-tension*)

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

- dimana : Δ_A = besarnya angker slip (mm), biasa = 6 mm
 E_s = modulus elastisitas baja prategang (Mpa)
 L = panjang tendon (mm)

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

3. Gelombang dan Geseran (pada saat *Post-tension*)

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

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

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

- 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

Catatan :

- Besarnya kehilangan tegangan beton sangat tergantung pada modulus elastisitas beton $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ (Mpa).
- Semakin tua usia beton, maka f'_c dan E_c semakin tinggi.
- Dengan demikian beton yang diberi gaya prategang pada usia dini, menderita kehilangan tegangan yang relatif lebih besar.
- Kehilangan tegangan beton tidak tergantung pada sistem prategangnya

2.6 ASPEK PEMBEBANAN

SNI T-02-2005 merupakan dasar dalam menentukan aksi-aksi (beban, perpindahan dan aksi lainnya) yang terjadi pada setiap bagian jembatan. Penggunaan pedoman dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

Aksi yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI T-02-2005 dikelompokkan menjadi :

- A. Aksi dan Beban Tetap
- B. Beban Lalu Lintas
- C. Aksi Lingkungan
- D. Aksi lainnya

2.6.1 Aksi dan Beban Tetap

Aksi dan beban tetap yang dimaksud dalam SNI T-02-2005 meliputi :

2.6.1.1 Berat sendiri

Berat sendiri adalah berat dari bangunan itu sendiri dan elemen-elemen lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah elemen non struktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.5 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Jangka waktu	$K_{S};MS;$	Faktor beban	
		$K_{U};MS;$	
Tetap	Baja, aluminium	Biasa	Terkurangi
		1,0	1,1
	Beton pracetak	1,2	0,85
	1,0	1,3	0,75
	Beton dicor di tempat	1,4	0,7
	1,0		
Kayu			

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 10 dari 63

2.6.1.2 Beban mati tambahan / utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban mati tambahan berupa sarana pelengkap jembatan, fasilitas umum yang ditempatkan pada jembatan, dan beban akibat pelapisan ulang yang mungkin akan terjadi selama umur rencana jembatan.

Tabel 2.6 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Jangka waktu	Faktor Beban		
	$K_{S;MA}$	$K_{U;MA}$	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan umum 1,0	2,0	0,7
	(1) Keadaan khusus 1,0	1,4	0,8
Catatan (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas			

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 12 dari 63

2.6.1.3 Pengaruh Penyusutan dan Rangkak

Pengaruh ini dihitung dengan menggunakan beban mati dari jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Penyusutan dan Rangkak

Jangka waktu	Faktor beban	
	$K_{S;SR}$	$K_{U;SR}$
Tetap	1,0	1,0
Catatan (1) Walaupun rangkak dan penyusutan bertambah lambat menurut waktu akan tetapi pada akhirnya akan mencapai harga konstan		

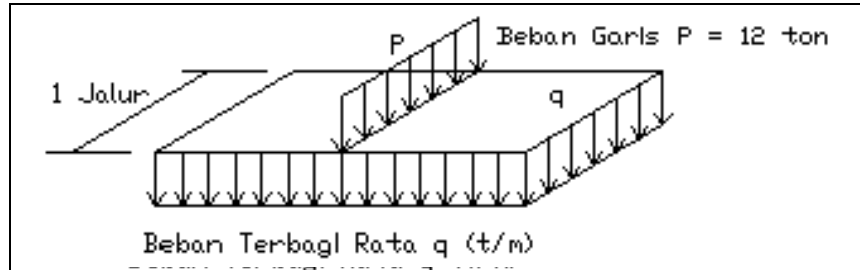
Sumber : SNI T-02-2005 halaman 13 dari 63

2.6.2 Beban Lalu Lintas

Menurut SNI T-02-2005 beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T".

2.6.2.1 Beban Lajur "D"

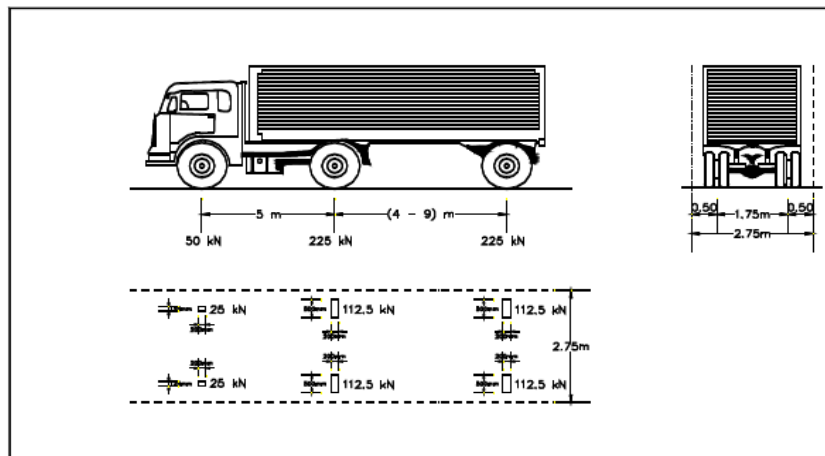
Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah totalbeban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).



Gambar 2.10 Beban Lajur "D"

2.6.2.2 Beban Truk "T"

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan tiga as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk diterapkan per lajur lalu lintas rencana.



Gambar 2.11 Beban Truk "T"

2.6.3 Aksi Lingkungan

Selain memperhitungkan aksi dan beban tetap, serta beban lalu lintas di dalam perencanaan jembatan juga harus memperhitungkan aksi lingkungan yang akan terjadi selama umur rencana jembatan tersebut. Menurut SNI T-02-2005 aksi lingkungan yang harus diperhatikan di dalam perencanaan adalah sebagai berikut.

2.6.3.1 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.

2.6.3.2 Pengaruh Temperatur

Variasi temperatur jembatan diperlukan dalam menghitung pergerakan sambungan plat lantai dan menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut. Perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung oleh sinar matahari di siang hari pada permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan pada waktu malam.

2.6.3.3 Aliran air, Benda Hanyutan dan Tumbukan dengan Batang Kayu

Gaya seret dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung kepada kecepatan aliran dan besarnya sudut yang terbentuk antara dinding pilar dengan arah aliran.

Sedangkan gaya akibat tumbukan dengan batang kayu dihitung dengan menganggap bahwa batang dengan massa minimum sebesar 2 ton hanyut pada kecepatan aliran rencana harus bisa ditahan dengan gaya maksimum berdasarkan lendutan elastis ekuivalen dari pilar.

2.6.3.4 Tekanan Hidrostatik dan Gaya Apung

Permukaan air tinggi dan rendah harus ditentukan selama umur rencana jembatan dan digunakan untuk menghitung tekanan hidrostatik dan gaya apung. Selain itu, kemungkinan adanya gradien hidrolis yang melintang bangunan juga harus diperhatikan di dalam perhitungan tekanan hidrostatik.

Bangunan penahan tanah juga harus bisa menahan pengaruh total air tanah, kecuali jika tanah timbunan benar-benar bisa mengalirkan air dengan baik.

2.6.3.5 Beban Angin

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung pada kecepatan angin rencana. Besarnya gaya nominal ultimit akibat angin dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{EW} = 0,0006 C_W (V_W)^2 A_b \quad [\text{kN}]$$

Dengan pengertian :

V_W adalah kecepatan angin rencana untuk keadaan batas yang ditinjau (m/s)

C_W adalah koefisien seret

A_b adalah luas koefisien bagian samping jembatan (m²)

Kecepatan angin rencana harus diambil seperti yang diberikan dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.8 Kecepatan Angin Rencana V_w

Keadaan batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 37 dari 63

Tabel 2.9 Koefisien Seret C_w

Tipe jembatan	C_w
Bangunan atas massif : (1),(2)	
$b / d = 1.0$	2.7 (3)
$b / d = 2.0$	1.5 (3)
$b / d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
Catatan (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar jembatan d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang massif Catatan (2) untuk harga antara dari b/d bias diinterpolasi linier Catatan (3) apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%	

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 37 dari 63

2.6.3.6 Pengaruh Gempa

Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut ini.

$$T_{EQ}^* = K_h / W_T \quad [\text{kN}]$$

Dimana :

$$K_h = C S$$

Dengan pengertian :

T_{EQ}^* adalah gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

K_h adalah koefisien beban gempa horizontal

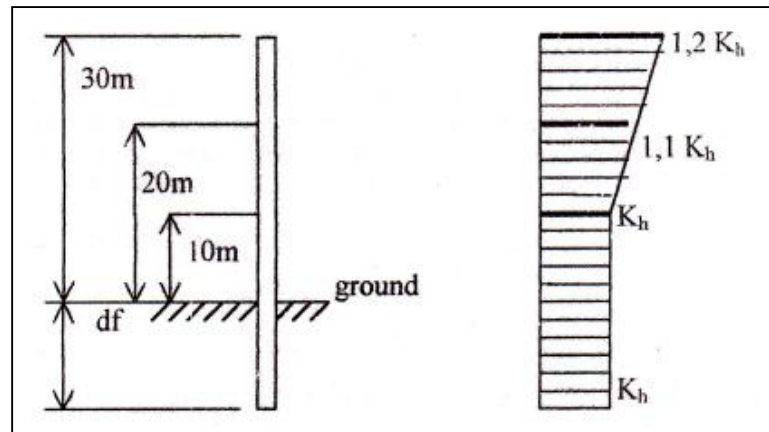
C adalah koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai

I adalah factor kepentingan

S adalah factor tipe bangunan

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

Untuk pilar tinggi, berat pilar dapat menjadi cukup besar untuk mengubah respon bangunan akibat gerakan gempa, maka beban statis ekuivalen arah horizontal pada pilar harus disebarakan sesuai dengan gambar berikut.



Gambar 2.12 Beban Gempa Pada Pilar Tinggi

2.7.3 Aksi Lainnya

2.7.3.1 Gesekan Pada Perletakan

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

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Gesekan Pada Perletakan

Jangka waktu	Faktor beban		
	$K_{S;FB}$	$K_{U;FB}$	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0,8
Catatan (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 46 dari 63

2.7.3.2 Pengaruh Getaran

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D”, dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh

lendutan statis maksimum pada trotoar. Walaupun lendutan statis diijinkan terjadi namun di dalam perencanaan harus memenuhi syarat-syarat kelelahan bahan yang digunakan.

2.7.3.3 Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri dari :

- a. Beban yang disebabkan oleh aktifitas pelaksanaan itu sendiri

Di dalam perencanaan jembatan perlu diperhatikan stabilitas semua komponen terhadap besarnya gaya yang timbul selama masa pelaksanaan.

- b. Aksi lingkungan yang mungkin terjadi selama waktu pelaksanaan

Selama waktu pelaksanaan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan. Ahli Teknik Perencana harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban yang sesuai untuk aksi lingkungan untuk aksi lingkungan yang bersangkutan. Namun selama masa pelaksanaan konstruksi pengaruh gempa tidak perlu dihitung.

2.7.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban biasanya didasarkan kepada kemungkinan beberapa tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan.

Tabel 2.11 Tipe Aksi Rencana

Aksi tetap		Aksi transien	
Nama	Simbol	Nama	Simbol
Berat sendiri	P_{MS}	Beban lajur "D"	T_{TD}
Beban mati tambahan	P_{MA}	Beban truk "T"	T_{TT}
Penyusutan / rangkai	P_{SR}	Gaya rem	T_{TB}
Prategang	P_{PR}	Gaya sentrifugal	T_{TR}
Pengaruh pelaksanaan tetap	P_{PL}	Beban pejalan kaki	T_{TP}
		Beban tumbukan	T_{TC}
Tekanan tanah	P_{TA}	Beban angin	T_{EW}
Penurunan	P_{ES}	Gempa	T_{EQ}
		Getaran	T_{VI}
		Gesekan pada perletakan	T_{BF}
		Pengaruh temperatur	T_{ET}
		Arus/hanyutan/tumbukan	T_{EF}
		Hidro/gaya apung	T_{EU}
		Beban pelaksanaan	T_{CL}

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 48 dari 63

Kombinasi beban untuk perencanaan berdasarkan tegangan kerja diberikan dalam Tabel 2.16.

Tabel 2.12 Kombinasi Beban Untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Aksi	Kombinasi no.						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-	-
Arus/hanyutan/hidro/daya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Pengaruh pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan r_{OS}	nil	25%	25%	40%	50%	30%	50%

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 54 dari 63

Kombinasi beban lalu lintas harus terdiri dari :

- Pembebanan lajur "D" atau pembebanan truk "T", ditambah gaya sentrifugal, dan pembebanan pejalan kaki;
- Pembebanan lajur "D" atau pembebanan truk "T", ditambah gaya rem, dan pembebanan pejalan kaki.

Kombinasi beban lalu lintas yang digunakan harus diambil salah satu yang paling berbahaya. Pengaruh dari gesekan pada perletakan harus dimasukkan sebagai aksi tetap atau pengaruh temperatur, diambil salah satu.

Faktor beban untuk keadaan batas ultimit didasarkan kepada umur rencana jembatan 50 tahun. Untuk jembatan dengan umur rencana yang berbeda, faktor beban ultimit harus diubah dengan menggunakan faktor pengali seperti yang diberikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.13 Pengaruh Umur Rencana Pada Faktor Beban Ultimit

Klasifikasi jembatan	Umur rencana	Kalikan K^U dengan -	
		Aksi tetap	Aksi transien
Jembatan sementara	20 tahun	1,0	0,87
Jembatan biasa	50 tahun	1,0	1,00
Jembatan Khusus	100 tahun	1,0	1,10

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 49 dari 63

2.7.3.5 Pembebanan Non Struktural

1. Pembebanan rencana kerb dan penghalang lalu lintas

Berdasarkan SNI T-02-20005, kerb harus direncanakan untuk dapat menahan beban rencana ultimit sebesar 15 kN/m yang bekerja sepanjang bagian atas kerb.

2. Beban rencana penghalang lalu lintas tingkat 1

Pembebanan rencana harus ditentukan berdasarkan referensi literatur khusus dan pertimbangan-pertimbangan berikut:

- a) tingkat risiko yang mungkin terjadi;
- b) ukuran kendaraan yang bekerja;
- c) kecepatan rencana lalu lintas;
- d) kelengkungan lantai kendaraan dan sudut tumbukan yang mungkin terjadi.

3. Beban rencana penghalang lalu lintas tingkat 2

Penghalang lalu lintas tingkat 2 harus direncanakan untuk dapat menahan beban tumbukan rencana ultimit arah menyilang, P^* , seperti berikut:

$$P^* = 100 \text{ kN untuk } h \leq 850$$

$$P^* = 100 \text{ Error! kN untuk } h > 850$$

dengan pengertian :

h adalah tinggi sumbu dari bagian atas palang lalu lintas (mm)

Beban rencana P^* harus bekerja sebagai beban titik.

4. Beban rencana sandaran pejalan kaki

Sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu $w^* = 0,75 \text{ kN/m}$. Beban-beban ini bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertikal pada masing-masing sandaran.

Tiang sandaran direncanakan untuk beban daya layan rencana:

$$w^* L$$

dengan pengertian :

L adalah bentang palang diantara tiang dalam m, hanya dari bagian atas sandaran.

Tidak ada ketentuan beban ultimit untuk sandaran.

5. Rambu jalan dan bagian penerangan

Rambu jalan yang dimaksud dalam hal ini yaitu penyangga lampu penerangan, penyangga lampu stopan dan bangunan untuk rambu lalu lintas baik yang ditempelkan atau dicantolkan pada bagian atas kerangka atau bangunan lainnya.

Beban angin rencana H^*w , dihitung dengan:

$$H^*w = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_s \quad [\text{kN}]$$

dengan pengertian :

V_w adalah kecepatan angin rencana (m/dt) dari tabel 2.12

C_w adalah koefisien seret yang ditentukan dari tabel 2.18

A_s adalah luas bagian samping dari bangunan untuk rambu lalu lintas atau penerangan.

Tabel 2.14 Koefisien Seret Untuk Rambu Jalan

Uraian	Koefisien seret C_w
Panel tanda lalu lintas :	
(1) Perbandingan lebar/tinggi = 1,0	1,18
2,0	1,19
5,0	1,20
10,0	1,23
15,0	1,30
Pencahayaan :	
Bentuk bulat	0,5
Bentuk segi empat, sisi datar	1,2
Tanda lalu lintas	1,2
Catatan (1) Untuk harga antara gunakan interpolasi linier	

Sumber : SNI T-02-2005 halaman 57 dari 63

Pada bangunan yang dilengkapi sarana untuk pejalan kaki dan ruang pemeliharaan maka beban total sebesar 2,2 kN disebarakan sepanjang 0,6 m pada tempat pejalan kaki atau ruang pemeliharaan tersebut, dan dikalikan dengan faktor beban untuk memperoleh beban rencana seperti berikut :

- keadaan batas daya layan 1,0;
- keadaan batas ultimit 1,8.