

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Dalam sebuah perencanaan tentunya diperlukan peraturan-peraturan yang berkaitan dengan pembebanan dan perencanaan lainnya. Dalam tugas akhir ini digunakan peraturan RSNI T-02-2005 tentang Pedoman Pembebanan Untuk Jembatan dan RSNI T-12-2004 tentang peraturan struktur beton untuk jembatan. Akan tetapi juga digunakan beberapa buku acuan lain untuk melengkapi peraturan yang sudah ada.

3.2 Pembebanan

Standar acuan yang dipakai adalah RSNI T-02-2005. Standar ini menetapkan ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan jalan raya termasuk jembatan pejalan kaki dan bangunan-bangunan sekunder yang terkait dengan jembatan

Peraturan ini digunakan untuk perencanaan seluruh jembatan termasuk jembatan bentang panjang dengan bentang utama > 200 m.

3.2.1 Aksi dan Beban Tetap

Berat dari bagian-bagian bangunan adalah masa dikalikan percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/d}^2$. Besarnya kerapatan bangunan seperti diberikan pada tabel 3.1.

1. Berat Sendiri

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

2. Beban Mati Tambahan

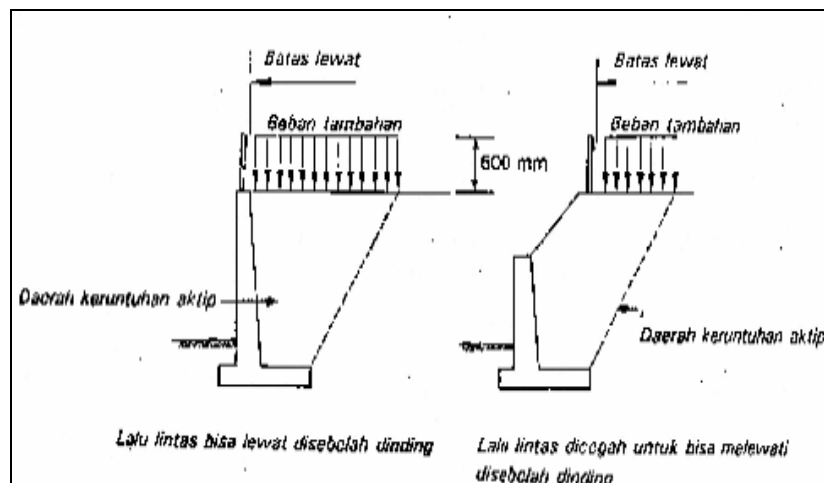
Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Ada dua jenis beban mati tambahan, yaitu :

- a. aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari
- b. Sarana lain di jembatan ; pipa air bersih maupun kotor yang harus ditinjau pada keadaan isi dan kosong, dll

3. Beban Akibat Tekanan Tanah

Tekanan tanah ultimit dihitung dengan harga nominal dari w_s , dan harga rencana dari c dan ϕ . Harga-harga rencana dari c dan ϕ diperoleh dari harga tabel 8 pasal 5.4.2 RSNI T-02-2005. Tekanan tanah yang diperoleh masih berupa harga nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban akibat tekanan tanah.

Pada bagian dibelakang dinding penahan tanah harus diperhitungkan adanya beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas kemungkinan akan bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan beban tanah setebal 0,6 m (untuk menghitung tekanan tanah lateral).



Gambar 3. 1 Tambahan Beban Hidup

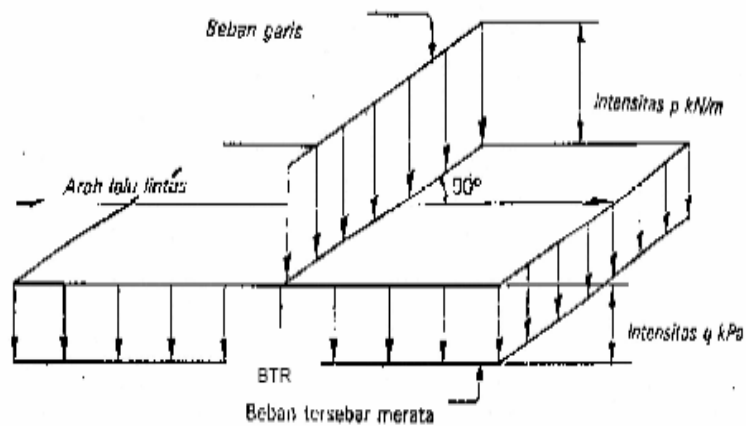
3.2.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 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 "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

1. Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti gambar 3.3 berikut.



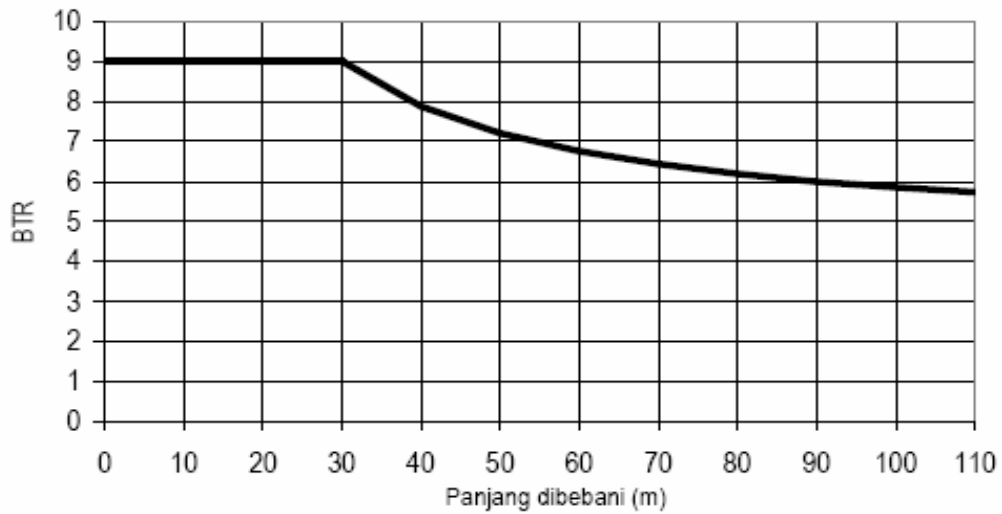
Gambar 3. 2 Beban Lajur "D"

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

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

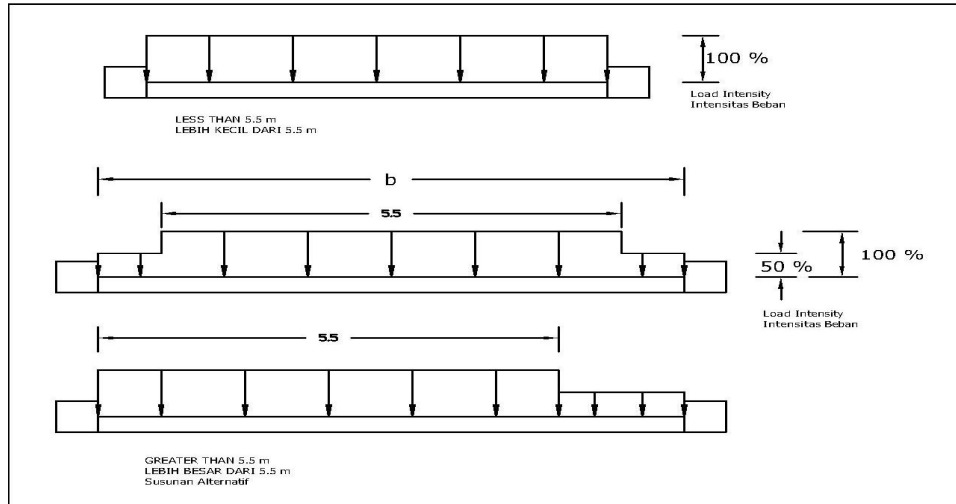
$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

Hubungan L dan q ditampilkan pada gambar 3.4 di bawah.



Gambar 3. 3 Intensitas Beban Terbagi Merata (BTR)

Beban Garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,5 meter, beban D sepenuhnya 100 % harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan. Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 meter, beban D sepenuhnya 100% dibebankan pada lebar jalur 5,5 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban D 50 %, seperti terlihat pada gambar 3. 6



Gambar 3. 4 Penyebaran Pembebanan Pada Arah Melintang

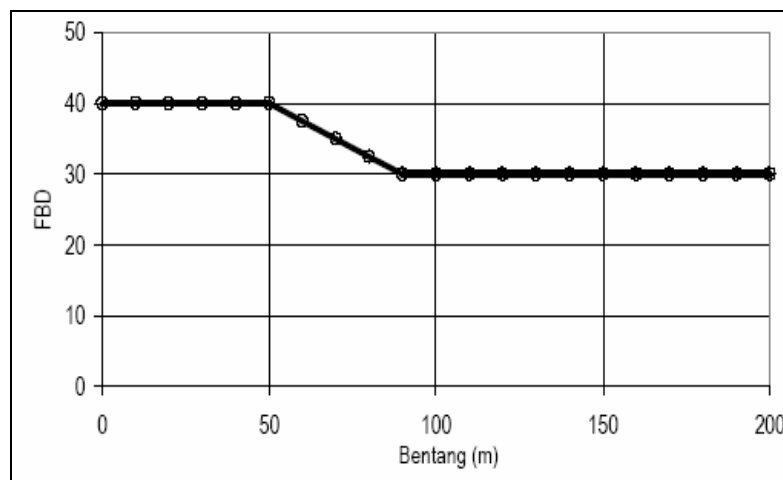
Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Untuk pembebanan "D" FBD merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam gambar 3.7. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen LE diberikan dengan rumus :

$$Le = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}}$$

dengan :

L_{av} = panjang bentang rata – rata

L_{max} = panjang bentang maximum

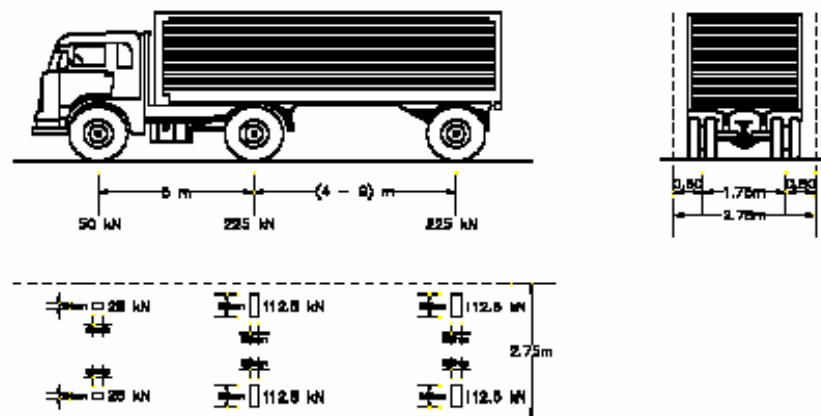


Gambar 3. 5 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban "D"

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh balok (tidak termasuk kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

2. Beban Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 3.8



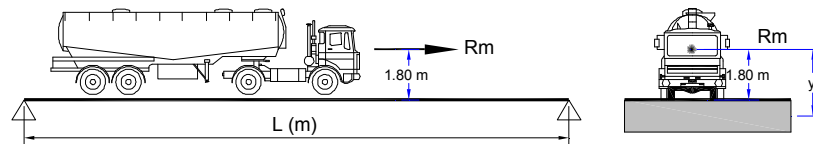
Gambar 3. 6 Beban Truk "T"

Terlepas dari panjang dan susunan bentang, hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur rencana. Untuk pembebanan truk "T": FBD diambil 30%.

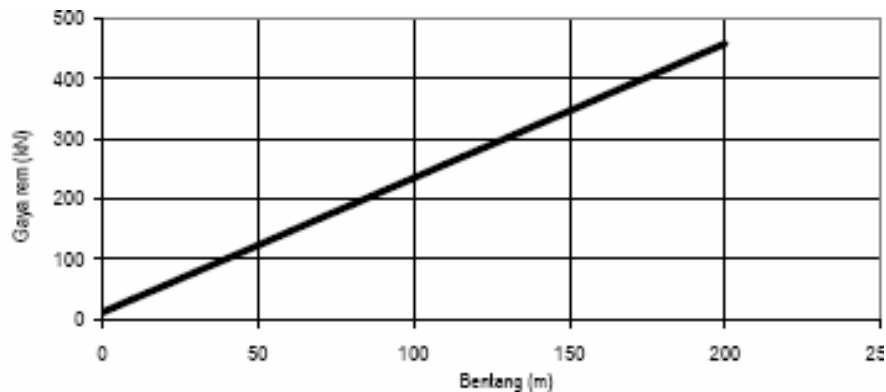
3. Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan seperti pada gambar 3.9. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, digunakan rumus 1: $q = 9 \text{ kPa}$.

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit berkurang sebesar 40% digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal.



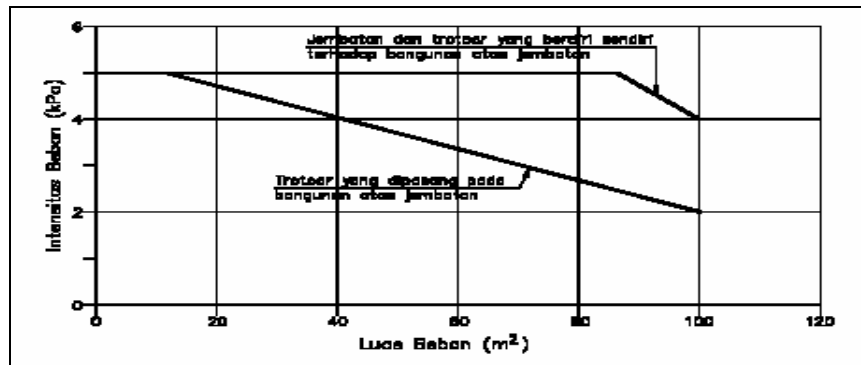
Gambar 3. 7 Gaya Rem



Gambar 3. 8 Gaya Rem Per Lajur

4. Beban Pejalan Kaki

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Jembatan pejalan kaki dan trotoar direncanakan untuk memikul beban per m² dari luas yang dibebani seperti pada gambar 3.10. Pembebanan lalu lintas dan pejalan kaki jangan diambil secara bersamaan pada keadaan batas ultimit (lihat Tabel 39 RSNI T-02-2005). Trotoar direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.



Gambar 3. 9 Pembebanan Untuk Pejalan Kaki

3.2.3 Aksi Lingkungan

1. Beban Akibat Perubahan Temperatur

Dalam menghitung pergerakan pada sambungan pelat lantai dan beban akibat terjadinya pengekangan akibat pergerakan tersebut di gunakan variasi temperatur rata-rata yang diberikan dalam tabel 3.1. Besarnya harga koefisien perpanjangan modulus elastisitas untu menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberikan dalam tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai jembatan di atas gelagar atau boks beton	15° C	40° C
Lantai beton di atas gelagar, boks, atau rangka baja	15° C	40° C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15° C	45° C
Temperatur minimum bisa dikurangi 5° C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian 500 m di atas permukaan air laut.		

Tabel 3. 2 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu	Modulus Elastisitas Mpa
Baja	12×10^{-6} per °C	200000
Beton :		
Kuat tekan < 30 Mpa	10×10^{-6} per °C	25000
Kuat tekan > 30 Mpa	11×10^{-6} per °C	34000
Aluminium	24×10^{-6} per °C	70000

2. Beban Akibat Aliran/Benda Hanyutan

Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung kepada kecepatan sebagai berikut :

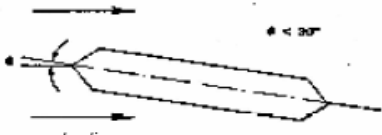



$$T_{EF} = 0.5.C_D.(V_s)^2 .A_d \text{ (KN)}$$

dengan

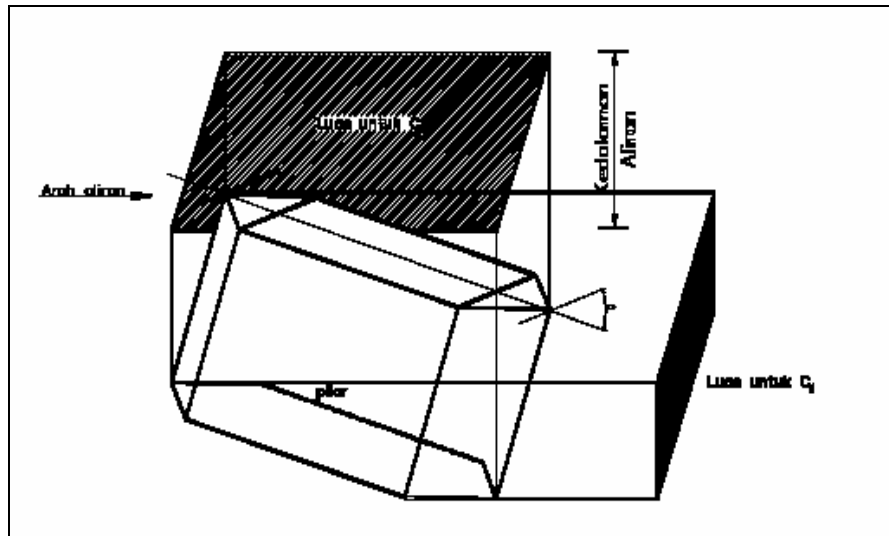
V_s = kecepatan air rata-rata (m/s)

C_D = koefisien seret (pada gambar 3.11)

A_d = luas proyeksi pilar tegak lurus aliran (m^2) (gambar 3.12)

Bentuk Pilar	Koefisien Seret C_D	Koefisien Angkat C_L
	0.8	θ C_L
	1.4	0° 0 5° 0.5 10° 0.9 20° 0.9 ≥ 30° 1.0
	0.7	
	0.7	Tidak bisa dipakai

Gambar 3. 10 Koefisien Seret dan Angkat



Gambar 3. 11 Luas Proyeksi Pilar Untuk Gaya-Gaya Aliran

Gaya akibat benda hanyutan dihitung seperti dengan persamaan :

$$T_{EF} = 0.5.C_D.(V_s)^2 .A_d \text{ (KN)}, \text{ dengan nilai } C_d = 1,04.$$

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

$$T_{EF} = \frac{M(V_a)^2}{d}$$

dengan

M = massa batang kayu = 2 ton

Va = kecepatan aliran permukaan (m/det). Dalam hal ini tidak ada penyelidikan yang terperinci mengenai bentuk diagram kecepatan di lokasi jembatan, Va bisa diambil 1,4 kali kecepatan rata - rata.

d = lendutan elastis ekuivalen.

Tabel 3. 3 Lendutan Ekuivalen Untuk Tumbukan Batang Kayu

Tipe Pilar	d (m)
Pilar Beton Masif	0.075
Tiang Beton Perancah	0.150
Tiang kayu perancah	0.300

3. Beban Angin

Gaya nominal ultimit T_{EW} dan daya layan jembatan dihitung dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0006.Cw.Vw^2 Ab$$

dengan :

Cw = kecepatan angin rencana (Tabel 28 RSNI T-02-2005 pasal 7.6)

Vw = Koefisien seret (Tabel 27 RSNI T-02-2005 pasal 7.6)

Ab = luas koefisien bagian samping jembatan

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban merata tambahan arah horizontal harus ditetapkan pada permukaan lantai, diberikan dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012.Cw.Vw^2 Ab, \text{ dengan } Cw = 1,2$$

4. Beban Gempa

a. Beban horizontal statis ekuivalen

Beban gempa rencana dihitung dengan rumus :

$$T_{EQ} = K_h * I * W_t$$

$$K_h = C * S$$

dengan :

T_{EQ} = gaya geser dasar total pada arah yang ditinjau (kN)

K_h = Koefisien beban gempa horisontal

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah (gambar 3.13)

I = Faktor kepentingan (tabel 32 pasal 7.7.1 RSNI T-02-2005)

S = Faktor tipe bangunan (tabel 33 pasal 7.7.1 RSNI T-02-2005)

W_t = Berat total bangunan (beban mati + beban mati tambahan)

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_{TP}}{g \times K_p}}$$

$$K_p = 3 \times E_c \times \frac{I_c}{h^3}$$

$$W_{TP} = (P_{MS} + P_{MA}) \text{ struktur atas} + 0.5 * P_{MS}$$

dengan :

T = waktu getar struktur (detik)

W_{TP} = Berat sendiri struktur atas dan beban mati tambahan, ditambah setengah berat sendiri struktur bawah (kN)

P_{MS} = Berat sendiri (kN)

P_{MA} = Berat mati tambahan (kN)

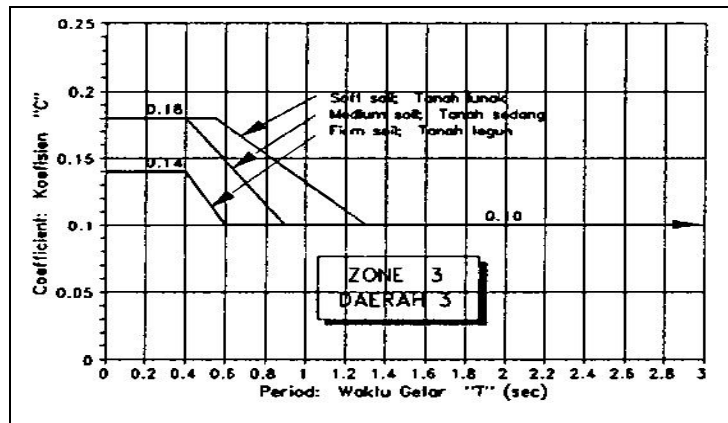
g = percepatan gravitasi (9.8 m/dt²)

K_p = Kekakuan struktur yang merupakan gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan (kN/m).

E_c = Modulus elatis beton (kPa)

I_c = Momen Inersia (m⁴)

h = tinggi struktur (m)



Gambar 3. 12 Koefisien Geser Dasar Gempa Wilayah 3

b. Tekanan lateral tanah akibat gempa

Untuk tekanan tanah lateral, gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah dinamis dihitung dengan menggunakan koefisien tekanan tanah dinamis (ΔK_{aG}) sebagai berikut :

$$\theta = \tan^{-1} (K_h)$$

$$K_{aG} = \cos^2 \left[\frac{(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \times \left(\frac{\sqrt{(\sin \phi^{-1} \times \sin(\phi^{-1} - \theta))}}{\cos \theta} \right)} \right]$$

$$\Delta K_{aG} = K_{aG} - K_a$$

gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah dinamis :

$$T_{EQ} = 0.5 * h^2 * W_s * \Delta K_{aG} + (q * h * \Delta K_{aG})$$

3.3 Perencanaan Beton Prategang

Ditinjau dari cara penarikan baja prategangnya, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam yakni :

1. Pratarik (*Pre Tensioning*)

Pada metode penegangan pratarik, kabel/*strands* prategang diberi gaya danditarik lebih dahulu sebelum dilakukan pengeciran beton dalam perangkat cetakan yang telah disiapkan. Setelah beton cukup keras, penjangkaran dilepas dan terjadipelimpahan gaya tarik baja menjadi gaya tekan pada beton.

2. Pasca Tarik (*Post Tension*)

Pada metode ini beton lebih dahulu dicetak dengan disiapkan lubang (*duct*) atau alur untuk penempatan *cable/strands*. Apabila beton sudah cukup kuat, kemudian *cable/strands* ditarik, ujung-ujungnya diangkurkan, selanjutnya lubang di-*grouting*.

3.3.1 Pemilihan Bentuk dan Ukuran Penampang

Pada perencanaan awal diperkirakan ukuran dimensi box girder prategang yang selanjutnya akan dianalisis. Perencanaan awal tidak memberikan penyelesaian yang siap pakai melainkan penentuan akhir perencanaan adalah hasil perhitungan yang telah dianalisis sesuai dengan syarat keamanan yang telah ditetapkan dalam standar perencanaan.

3.3.2 Peninjauan Besar Gaya Prategang dan Eksentrisitas Tendon

Pada dasarnya pada sistem pra tarik maupun pasca tarik, tegangan ditinjau pada kondisi saat transfer dan saat layan.

Perhitungan besar gaya prategang awal dihitung dari persamaan tegangan sebagai berikut :

1. Persamaan tegangan pada serat atas

$$f^a = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e_s}{S^a} - \frac{M_{box}}{S^a}$$

2. persamaan tegangan pada serat bawah

$$f^b = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s}{S_b} + \frac{M_{box}}{S_b}$$

- dengan :
- f^a = tegangan serat atas (Mpa)
 - f_b = tegangan serat bawah (Mpa)
 - P_i = gaya prategang awal (kN)
 - A = luas penampang balok (m²)
 - e_s = eksentrisitas tendon (m)
 - S_a = modulus penampang bagian atas (m⁴)
 - S_b = modulus penampang bagian atas (m⁴)
 - M_{box} = momen akibat berat sendiri box (kNm)

Tegangan yang terjadi harus sesuai dengan tegangan ijin yang telah ditetapkan dalam peraturan standart perencanaan. Dalam tugas akhir ini digunakan standar peraturan RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.

Besarnya tegangan ijin beton pada RSNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2 adalah sebagai berikut :

1. Tegangan ijin beton pada kondisi tranfer
 - serat tekan = $0,6 \cdot f_{ci}$
 - serat tarik = $0,25 \sqrt{f_{ci}}$
2. Tegangan ijin beton pada kondisi batas layan
 - serat tekan = $0,45 \cdot f_c'$
 - serat tarik = $0,50 \sqrt{f_c'}$

Untuk tegangan ijin baja prategang pada RSNI T-12-2004 pasal 4.4.3.2 ditetapkan sebagai berikut :

1. Tegangan ijin tendon pada kondisi transfer

Akibat penjangkaran tendon, sebesar $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$
2. Tegangan ijin tendon sesaat setelah transfer

Gaya prategang sesaat setelah transfer boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar $0,74 f_{pu}$
3. Tegangan ijin tendon pada batas layan

pada tendon pasca tarik tegangan ijin sebesar $0,7 f_{pu}$

3.3.3 Lintasan Inti Tendon

Lintasan tendon didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$y = 4f(x/L^2)(L-X),$$

dengan $f = e_s$: eksentrisitas tendon
 L : Panjang bentang
 X : Jarak yang ditinjau

3.3.4 Penentuan Tata Letak Tendon

Tata letak tendon ditentukan berdasarkan tampang dimana terjadi momen maksimum dan ujung balok. Pada perencanaan ini ditinjau pula pada seperempat bentang. Tendon sebaiknya diletakkan didalam batas kern agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat ekstrim. Batas kern ditentukan sebagai berikut :

➤ Batas kern atas

$$k_t = \frac{r^2}{y_a}$$

➤ Batas kern bawah

$$k_b = \frac{r^2}{y_b}$$

dimana :

k_t = batas kern atas (m)

k_b = batas kern bawah (m)

r^2 = radius girasi (m²)

y_a = jarak pusat berat balok terhadap sisi atas (m)

y_b = jarak pusat berat balok terhadap sisi bawah (m)

Letak tendon dipengaruhi oleh besar momen pada setiap titik, sehingga eksentrisitas tendon berubah sesuai perubahan besar momen. Batas bawah batas atas eksentrisitas tendon ditentukan sebagai berikut :

➤ Batas eksentrisitas bawah didasarkan gaya prategang saat transfer agar tegangan pada serat atas \leq tegangan ijin. Lengan antara garis pusat berat balok dan pusat tendon prategang minimum adalah :

$$a_{\min} = \frac{M_0}{P_i}$$

Dengan demikian jarak maksimum di bawah kern di mana tendon diletakkan (eksentrisitas bawah) yang membatasi adalah :

$$e_b = a_{\min} + k_b$$

- Batas kern atas didasarkan pada saat layan, sehingga lengan antara garis pusat berat balok dan pusat berat tendon adalah

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e}$$

Sehingga jarak maksimum dibawah kern atas yang membatasi atau eksentrisitas atas yang membatasi adalah :

$$e_t = a_{\max} - k_t$$

3.3.5 Kehilangan Tegangan

Gaya prategang yang diberikan untuk menimbulkan tegangan internal pada struktur prategang akan mengalami reduksi selama beberapa waktu. karena itu tahapan gaya prategang perlu ditetapkan pada setiap tahap pembebanan, mulai dari tahap transfer, tahap pembebanan untuk beban kerja sampai tahap batas.

Kehilangan gaya prategang ini dikelompokkan menurut waktu terjadinya kehilangan gaya :

- kehilangan seketika yaitu perpendekan elastis beton, pengangkeran dan gesekan
- kehilangan tegangan tergantung waktu seperti rangkai, susut dan relaksasi baja prategang

Pada perencanaan dalam tugas akhir ini box girder prategang direncanakan dengan sistem pasca tarik dengan tendon terekat sehingga kehilangan tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut :

Kehilangan tegangan seketika :

1. Perpendekan elastis beton

Pada sistem pasca tarik, gaya prategang diukur saat tendon diangkur berarti telah terjadi perpendekan elastis beton. Dalam perencanaan box girder

prategang pada tugas akhir ini, tendon ditarik secara simultan sehingga tidak terjadi kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton.

2. Gesekan

Kehilangan prategang terjadi pada komponenstruktur pasca tarik akibat gesekan tendon dengan bahan sekelilingnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta f_{pF} = f_{pj} \cdot (\mu \cdot \alpha + K \cdot L)$$

dimana : Δf_{pF} = kehilangan tegangan akibat gesekan (MPa)

f_{pj} = tegangan akibat penjangkaran/jacking (Mpa)

μ = koefisien gesekan akibat adanya lengkungan tendon

- untuk selongsong yang diberi pelumas dapat diambil sebesar 0,05-0,15

- untuk selongsong logam berprofil dapat diambil 0.15-0,25

α = pengaruh kelengkungan (rad)

K = koefisien gesekan akibat simpangan menudut (rad/m)

L = panjang bentang jembatan (m)

3. Pergeseran Angkur

Pada sistem pasca tarik, setelah tendon ditarik sampai nilai yang diinginkan lalu diangkurkan dan tendon dilepas. Perlengkapan pada angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi yang mengakibatkan terjadinya penggelinciran. Besarnya penggelinciran berkisar antara 6,35 mm – 9,53mm. Besarnya kehilangan tegangan akibat pergeseran angkur dihitung dengan rumus :

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} \times E_{ps}$$

dimana Δf_{pA} = kehilangan tegangan akibat pergeseran angkur (MPa)

ΔA = besarnya penggelinciran/pergeseran angkur (mm)

E_{ps} = Modulus elastisitas baja prategang (Mpa)

L = bentang jembatan (m)

Kehilangan tegangan tergantung waktu :

1. Rangkak

Pada perencanaan box girder prategang dalam tugas akhir ini, tendon direncanakan sebagai tendon terekat, sehingga kehilangan tegangan akibat rangkakan beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta f_{pCR} = K_{CR} \frac{E_{ps}}{E_c} (f_{cs} - f_{csd})$$

dimana : Δf_{pCR} =kehilangan tegangan akibat rangkakan (MPa)

$$K_{CR} = 1,6$$

$$E_{ps} = \text{modulus elastis baja prategang (Mpa)}$$

$$E_c = \text{modulus elastis beton (Mpa)}$$

f_{cs} = tegangan beton pada level pusat berat tendon akibat seluruh beban mati tambahan pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

f_{csd} = tegangan pada pusat berat tendon akibat berat sendiri dan gaya prategang P_0 , dengan $P_0 = 0,9 P_i$

2. Susut

Kehilangan tegangan akibat susut beton dihitung dengan metoda bergantung waktu dimana kehilangan susut untuk kondisi standar sesuai fungsi waktu t dalam hari dan waktu dihitung sesudah 7 hari untuk perawatan basah dan 3 hari untuk perawatan uap dengan menggunakan rumus :

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{(t + 35)} \epsilon_{SH,u}$$

diman : t = waktu dalam hari

$$\epsilon_{SH,u} = 800 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}$$

Kehilangan tegangan akibat susut dihitung dengan rumus :

$$\Delta f_{pSH} = \epsilon_{SH,t} \cdot E_{ps}$$

3. Relaksasi Baja

Relaksasi baja adalah pengurangan tegangan dalam baja akibat regangan konstan dan dipengaruhi waktu dan perbandingan antara gaya prategang awal

dengan kuat leleh baja prategang (f_{pi}/f_{py}). Besarnya kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dihitung dengan rumus :

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dimana t_1 = waktu (jam) awal suatu interval

t_2 = waktu (jam) akhir suatu interval

$$f_{pi}/f_{py} > 0,55$$

3.3.6 Pemeriksaan Tegangan

Pemeriksaan tegangan pada beton prategang dilakukan pada saat transfer dan pada saat layan. Di mana, pada perencanaan beton prategang untuk tendon terikat digunakan penampang netto pada saat transfer dan penampang transformasi pada saat layan.

3.3.7 Pemeriksaan Lendutan

Besarnya lendutan yang diijinkan pada balok sederhana adalah sebagai berikut :

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{240}, \text{ dengan } L = \text{panjang bentang (m)}$$

Pemeriksaan lendutan dilakukan pada saat transfer di mana beban luar belum bekerja dan pada saat layan yaitu pada saat beban luar telah bekerja.

3.3.8 Pemeriksaan Geser

Kekuatan geser batas nominal V_n , tidak boleh diambil lebih besar dari jumlah kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton dan tulangan geser dalam penampang komponen struktur yang ditinjau.

$$V_n = V_c + V_s$$

Gaya geser batas beton (V_c) tidak boleh diambil melebihi nilai terkecil dari dua kondisi retak, yaitu retak geser terlentur (V_{ci}) dan retak geser badan (V_{cw}).

1. Retak geser terlentur, V_{ci}

Menurut RSNI T12-2004, retak geser lentur dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f_c'}}{20} \cdot b_w \cdot d + Vd + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}}$$

dimana nilai momen retak M_{cr} , didapatkan dari persamaan :

$$M_{cr} = \frac{I_x}{y_a} \frac{\sqrt{f_c'}}{2} \cdot (f_{pe} - f_d)$$

2. Retak geser bagian badan

Menurut RSNI T12-2004 nilai retak geser badan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

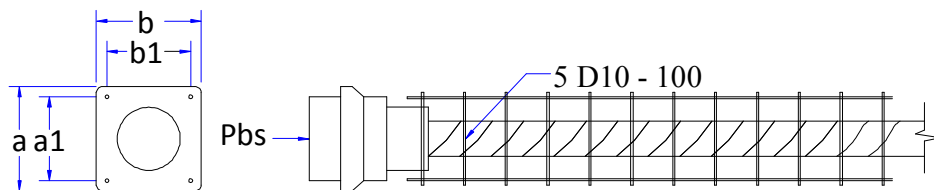
$$V_{cw} = V_t + V_p$$

$$V_t = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})b_w \cdot d$$

$$V_p = P_e \tan \theta$$

3.3.9 End Block

End block adalah daerah yang berada di ujung balok pratekan yang mempunyai konsentrasi tegangan yang tinggi dan berpotensi untuk terjadi bahaya retak.



Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertikal, r_a

$$r_a = a_1 / a$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang horisontal, r_b

$$r_b = b_1 / b$$

Bursting force untuk sengkang arah vertikal, P_{bta}

$$P_{bta} = 0,30 \cdot (1 - r_a) \cdot P_{pj}$$

Bursting force untuk sengkang arah horisontal, P_{btb}

$$P_{btb} = 0.30.(1 - r_b).P_{pj}$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan, A_{ra}

$$A_{ra} = P_{bta} / (0.85 \cdot f_s)$$

Luas tulangan sengkang arah horisontal yang diperlukan, A_{rb}

$$A_{rb} = P_{btb} / (0.85 \cdot f_s)$$

Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan, n_a

$$n_a = A_{ra}/A_s$$

Jumlah sengkang arah horisontal yang diperlukan, n_b

$$n_b = A_{rb}/A_s$$

3.4 Perencanaan Beton Bertulang

3.4.1 Perencanaan Lantai Kendaraan

Perencanaan lantai jembatan direncanakan menggunakan pelat satu arah. Pelat satu arah yaitu pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, ataupun pelat yang ditumpu pada keempat sisinya tetapi $L_y/L_x > 2$, sehingga hampir seluruh beban dilimpahkan pada sisi pendek.

Perencanaan pelat satu arah dapat dilakukan sebagaimana balok persegi dengan tinggi balok adalah setebal pelat dan lebar satu satuan. Tebal pelat (h) terlentur satu arah tergantung besar momen lentur, defleksi dan kuat geser yang dituntut. *SK-SNI* memberi tebal minimum satu arah yang dikaitkan dengan bentang pelat beton normal ($W_c = 23 \text{ KN/m}^3$) dan baja BJTD 40 adalah sebagai berikut:

1. $L/20$ (dua tumpuan)
2. $L/24$ (satu ujung menerus)
3. $L/28$ (kedua ujung menerus)
4. $L/10$ (kantilever)
5. Jika mutu baja bukan BJTD 40 dikalikan $\left[0,4 + \frac{f_y}{700}\right]$
6. sedang untuk beton ringan dikalikan faktor $(1,65 - 0,005 \cdot w_c)$

Pelat satu arah pada umumnya direncanakan dengan ratio tulangan tarik jauh lebih rendah dari $\rho_{maks} = 0,75\rho_b$. Karena disamping penghematan

penggunaan baja tulangan dengan tinggi yang optimal dapat dihindari defleksi yang berlebihan. Luas tulangan pokok A_s harus memenuhi $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

Bila $\rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\min}$ dan $1,33 \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\min}$ maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\min}$

Atau

$1,33 \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$ maka di gunakan $\rho_{\text{perlu}} = 1,33 \rho_{\text{perlu}}$

Selain itu, untuk menjaga terhadap susut harus dipenuhi $A_s \geq A_{\text{sst}}$, dimana luas tulangan susut BJTD 40 adalah :

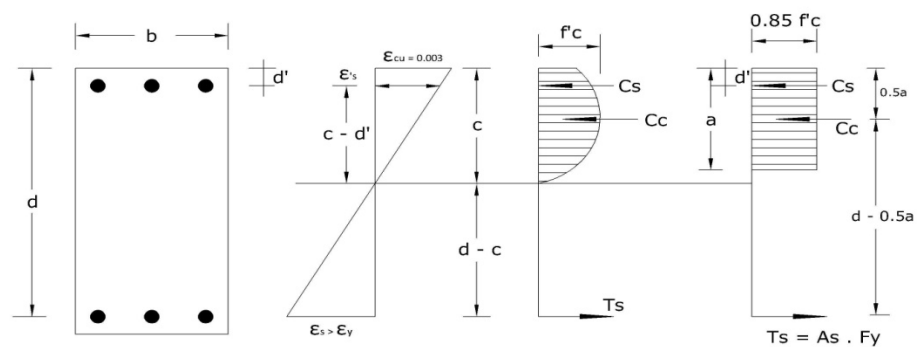
$$A_{\text{sst}} = 0,0018.b.h$$

Jarak tulangan maksimum pkp (pusat ke pusat)

$$s \leq \frac{A_{1D}.1000}{A_s}$$

3.4.2 Perencanaan Balok

Balok direncanakan dengan tulangan rangkap apabila balok tersebut memiliki tulangan tarik dan tulangan rangkap sekaligus dan dikehendaki dapat menopang momen yang lebih besar dari kapasitasnya seringkali direncanakan karena pertimbangan arsitektural yang membatasi dimensi balok.



Gambar 3.13 Diagram Tegangan dan Regangan

Untuk menghitung momen nominal sebagai berikut :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_{n1} = A_s \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{n2} = A_s' \cdot f_s \cdot (d - d')$$

dengan nilai blok tegangan tekan sebagai berikut :

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \text{ untuk } f_s' < f_y$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \text{ untuk } f_s' \geq f_y$$

dengan nilai f_s'

$$f_s' = 600 \left(1 - \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right)$$

Balok tulangan rangkap kondisi I diasumsikan tulangan tarik dan tulangan desak telah luluh saat regangan beton ϵ_s mencapai 0,003. Untuk mengetahui apakah asumsi telah sesuai maka dilakukan dengan pemeriksaan regangan dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} (0,003)$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003)$$

nilai c dihitung dari persamaan 3.4.6.10. Apabila nilai dari persamaan 3.4.6.13 dan 3.4.6.14 lebih besar dari regangan leleh baja ϵ_y maka asumsi benar,

Kondisi yang lain yaitu kondisi di mana baja tulangan tarik telah luluh akan tetapi baja tulangan desak belum luluh pada saat regangan beton mencapai 0,003.

3.4.3 Perencanaan Kolom

1. Kolom Eksentrisitas Kecil

Dalam kenyataannya, hampir tidak pernah dijumpai kolom yang mendukung beban aksial secara konsentris, bahkan sangat jarang dijumpai kolom dengan eksentrisitas kecil.

SK SNI T-15-1991-03 menentukan bahwa pada prakteknya tidak ada kolom yang dibebani tanpa eksentrisitas. Eksentrisitas beban dapat terjadi karena timbulnya momen yang antara lain disebabkan oleh kekangan ujung - ujung kolom yang dicetak secara monolit dengan komponen lain., pelaksanaan pemasangan yang tidak sempurna ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Maka sebagai faktor reduksi kekuatan untuk memperhitungkan eksentrisitas minimum, peraturan memberikan ketentuan bahwa kekuatan nominal kolom dengan pengikat

senggang direduksi 20 % dan untuk kolom dengan pengikat spiral direduksi 15 %. Ketentuan tersebut memberikan rumus kuat beban aksial maksimum sebagai berikut :

a. Kolom dengan penulangan spiral

$$\phi P_{nmax} = 0,85 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y)$$

b. Kolom dengan penulangan senggang

$$\phi P_{nmax} = 0,80 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y)$$

dengan ϕ = faktor reduksi kekuatan

A_g = luas brutto penampang kolom

A_{st} = luas total penampang memanjang.

P_n = beban aksial nominal dengan eksentrisitas tertentu

Perencanaan kolom beton bertulang merupakan penentuan dimensi, ukuran penampang kolom beton maupun batang tulangan baja yang dibutuhkan baik itu untuk tulangan geser maupun lentur. Rasio luas tulangan dibatasi $0,01 < \rho_s < 0,08$. Untuk penulangan spiral, rasio penulangan ρ_s tidak boleh kurang dari :

$$\rho_{s_{min}} = 0,45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_c - 1} \right) \frac{f_c'}{F_y}$$

$$\rho_{s_{aktual}} = \left(\frac{4 \cdot A_{sp}}{D_c \cdot s} \right)$$

dengan ρ_s = Rasio minimum tulangan spiral

A_g = Luas penampang linyang kotor kolom

A_c = Luas penampang inti kolom

A_{sp} = Luas penampang batang tulangan spiral

D_c = Diameter inti kolom

s = jarak spasi tulangan spiral

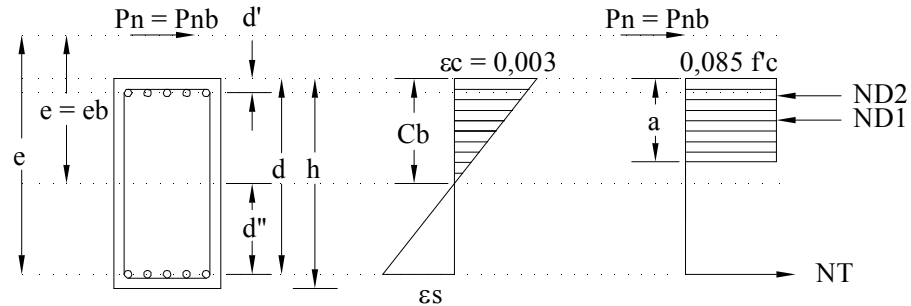
F_y = Tegangan luluh baja spiral

2. Kolom Eksentrisitas Besar

Pada kolom yang memiliki eksentrisitas besar, berdasarkan regangan yang terjadi pada tulangan baja, awal kehancuran penampang kolom dapat dibedakan menjadi:

a. Patah seimbang, yaitu kondisi dimana terjadi keruntuhan kolom pada saat baja tulangan tarik leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$) dan baja desak hancur

- b. Patah desak, yaitu ketika beton desak hancur baja tarik masih belum leleh ($\epsilon_s < \epsilon_y$)
- c. Patah tarik yaitu baja tarik leleh tetapi beton desak belum hancur ($\epsilon_s \leq \epsilon_y$)



Gambar 3.14 Diagram Tegangan dan Regangan

Dari diagram tegangan dan regangan :

$$\Sigma P = 0$$

$$ND2 + Nd1 - NT - Pn = 0$$

$$Pn = ND2 + ND1 - NT$$

dimana :

$$ND1 = 0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

$$ND2 = A_s' (f_s' - 0.85 \cdot f_c)$$

$$NT = A_s \cdot f_y$$

Keseimbangan momen terhadap pusat plastis, di mana jarak eksentrisitas e ditentukan, $\Sigma M = 0$

$$Mn = Pn \cdot e$$

$$Mn = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A_s' F_y (h/2 - d') + A_s \cdot F_y (d - h/2)$$

3.4.4 Perencanaan Pondasi

Daya dukung aksial ijin diambil dari nilai terkecil dari perhitungan daya dukung aksial tiang bor berdasarkan kekuatan bahan dan berdasarkan kekuatan tanah sebagai berikut :

1. Berdasarkan Kekuatan Bahan

$$\text{Berat tiang bor, } w = A \cdot L \cdot w_c$$

$$\text{daya dukung ijin, Pijin} = A \cdot f_c' - w$$

2. Berdasarkan Kekuatan Tanah

a. Menurut *Terzaghi* dan *Thomlinson*

$$q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma \cdot R \cdot N_\gamma$$

C : kohesi tanah

L : kedalaman tiang bor

R : jari-jari tiang bor

$$N_c = (228 + 4,3 \cdot L) / (40 - L)$$

$$N_q = (40 + 5 \cdot L) / (40 - L)$$

$$N_\gamma = (6 \cdot L) / (40 - L)$$

b. Menurut *Meyerhoff*

$$q_{ult} = 40 \cdot N'$$

N : Nilai SPT hasil pengujian

N' : Nilai SPT terkoreksi

$$N' = 15 + \frac{1}{2} \cdot N$$

c. Menurut *Bagement*

qc : nilai conus rata-rata

qf : nilai hambatan lekat rata-rata

$$\text{Pijin} = A \cdot qc / 3 + K \cdot L \cdot qf / 5$$