

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pendahuluan

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis yang mampu memancarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur, harus di kendalikan agar struktur tidak sampai mengalami keruntuhan saat terjadi gempa besar. Pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis terlebih dahulu di tentukan secara pasti terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan ini dikenal sebagai Konsep Desain Kapasitas (Vis & Gideon, 1994). Untuk mengatasi kerusakan fatal dapat diatasi dengan desain kapasitas yang memiliki daktilitas penuh.

Pada prinsipnya, perencanaan dengan metode daktail menggunakan konsep *strong coloumn weak beam* yang mengarahkan mekanisme keruntuhan struktur yang terjadi pada balok (beam sway mechanism) dengan cara pembentukan sendi plastis pada balok sehingga mekanisme keruntuhan pada kolom dapat dihindari.

3.2. Analisis Beban Gempa

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa harus menganalisis beban akibat gempa. Pada penelitian ini, menggunakan analisis beban gempa ekuivalen statik sesuai PPTGIUG (1987)

3.2.1 Gaya geser Dasar (V)

Gaya geser dasar merupakan gaya geser horizontal yang besarnya dipengaruhi oleh persamaan :

$$V = C.I.K.Wt \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan : C = koefisien gempa dasar I = faktor keutamaan gedung

K = faktor jenis gedung Wt = berat total struktur (KN)

3.2.2 Koefisien Gempa Dasar (C)

Koefisien gempa dasar di pengaruhi kondisi wilayah gempa, waktu getar alami struktur (T) dan kondisi tanah setempat. (C) dapat di cari dengan grafik wilayah gempa. Waktu getar struktur (T) dapat di cari dengan rumus pendekatan :

$$T = \frac{0,09.Hn}{B^{0.5}} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan : T = waktu getar alami struktur (detik)

Hn = tinggi struktur permukaan yang dikekang (m)

B = lebar bangunan (m)

3.2.3 Faktor keutamaan Gedung (I)

Faktor keutamaan digunakan untuk memperbesar gempa rencana agar struktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang atau struktur mempunyai tingkat kerusakan yang lebih kecil. Berdasarkan PPTGIUG (1987) diambil nilai I = 1.

3.2.4 Faktor jenis struktur (K)

Faktor jenis struktur K dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa daktilitas yang dituntut tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa kuat. Semakin tinggi K maka nilai daktilitas makin rendah. Berdasarkan PPTGIUG (1987) diambil nilai K = 1 untuk tingkat daktilitas penuh.

3.2.5 Berat total bangunan (Wt)

Merupakan berat total dari struktur bangunan yang direncanakan ditambah dengan beban hidup.

3.2.6 Distribusi Gaya Geser Horizontal (Fi)

Distribusi gaya horizontal akibat beban gempa (Fi) tergantung pada perbandingan tinggi total struktur (H) terhadap lebar struktur (B) pada arah yang ditinjau. Adapun distribusinya adalah sebagai berikut :

1. Struktur bangunan yang memiliki nilai $H/B < 3$, maka gaya horizontal akibat beban gempa (Fi) untuk masing-masing lantai dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

2. Struktur bangunan gedung yang memiliki nilai $H/B \geq 3$, maka 90% beban didistribusikan berupa gaya horisontal akibat gempa (Fi) untuk masing-masing lantai dihitung dan 10% beban lainnya ditambahkan

pada tingkat paling atas atau atap. yang dihitung melalui persamaan berikut :

$$F_n = 0,1.V + \frac{W_n \cdot h_n}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot 0,9 V \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

Untuk lantai selain atap dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot 0,9V \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

dengan F_i gaya horizontal akibat gempa tingkat ke-I, F_n gaya horizontal akibat beban gempa pada atap, h_i tinggi lantai ke-i, h_n tinggi atap, V gaya geser dasar, W_i berat lantai ke-i dan W_n adalah berat atap.

3.3. Analisis Struktur Pelat

Pelat atau slab beton bertulang merupakan suatu sistem lantai atau atap yang paling banyak digunakan pada bangunan. Pelat merupakan komponen tipis yang menahan gaya-gaya transversal melalui aksial lentur ke masing-masing tumpuan. Di dalam analisis pelat dibedakan menjadi dua jenis, pelat dengan tulangan satu arah dan pelat dengan tulangan dua arah.

1. Menentukan tebal minimum plat (h)

- Tegangan leleh baja (f_y) : digunakan $f_y = 240$ Mpa
- Kuat desak beton rencana (f'_c) : digunakan $f'_c = 30$ Mpa

Pada SK SNI T-15-1991-03 memberikan pendekatan empiris mengenai batasan defleksi dilakukan dengan tebal plat minimum sebagai berikut :

$$h \geq \frac{Ln.(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \dots\dots\dots(3.6)$$

Tetapi tidak boleh kurang dari : $h \geq \frac{Ln.(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(3.7)$

Dan tidak perlu lebih dari : $h \leq \frac{Ln.(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36} \dots\dots\dots(3.8)$

Dalam segala hal tebal minimum plat tidak boleh kurang dari :

- Untuk α_m kurang dari ($<$) 2,0 digunakan nilai h minimal 120 mm.
- Untuk α_m lebih dari (\geq) 2,0 digunakan nilai h minimal 90 mm.

dimana : Ln = bentang bersih pelat dihitung dari muka balok (mm)

α_m = rasio kekakuan balok terhadap pelat

β = rasio panjang terhadap lebar bentang pelat

2. Menentukan Momen Lentur Terjadi

Perencanaan pelat dua arah untuk beban gravitasi dilakukan dengan menggunakan *metode koefisien momen* (PBI 1971). Besar momen

lentur plat segi empat dalam arah bentang panjang :

$$M_{tx} = 0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot c_{tx} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot c_{lx} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot c_{ly} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot c_{ly} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana : qu = beban merata

Lx = panjang bentang pendek

ctx = koefisien momen tumpuan arah x

clx = koefisien lapangan arah x

cty = koefisien momen tumpuan arah y

cly = koefisien momen lapangan arah y

Nilai koefisien momen (c) diambil dari PBI 1971

3. Menentukan Rasio Tulangan (ρ)

Untuk mendapatkan rasio tulangan digunakan rumus sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3.13)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3.15)$$

dimana : ρ_b = rasio tulangan dalam keadaanimbang

ρ_{maks} = rasio tulangan maksimal

ρ_{min} = rasio tulangan minimal

4. Menentukan Tinggi Manfaat (d) arah x dan y

Pada pelat dua arah, tulangan momen positif untuk kedua arah dipasang saling tegak lurus. Karena momen positif arah bentang pendek (x) lebih besar dari bentang panjang (y), maka tulangan bentang pendek diletakkan pada lapis bawah agar memberikan d (tinggi manfaat) yang besar.

$$dx = h - P_b - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul,x} \quad \dots\dots\dots(3.16) \text{ untuk tulangan } l_x, t_x, t_y$$

$$dy = h - P_b - \phi_{tul,x} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tul,y} \dots\dots\dots(3.17) \text{ untuk}$$

tulangan l_y d_y untuk tulangan tumpuan arah y (t_y) sama dengan d_x

5. Menentukan Luas Tulangan (As) arah x dan y

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

$$M = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

- Jika $\rho > \rho_{maks}$ tebal minimum (h) harus diperbesar
- Jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ dipakai nilai : $\rho_{pakai} = \rho$
- Jika $\rho < \rho_{min}$ dan $1,33 \cdot \rho > \rho_{min}$ dipakai nilai : $\rho_{perlu} = \rho_{min}$
- Jika $\rho < \rho_{min}$ dan $1,33 \cdot \rho < \rho_{min}$ dipakai nilai : $\rho_{perlu} = 1,33\rho_{pakai}$

Setelah didapat nilai ρ_{perlu} maka:

$$A_{Sperlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \geq A_s \text{ susut/bagi} = 0,002 \cdot b \cdot h \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

Nilai lebar pelat (b), diambil tiap 1 meter (1000mm).

Jika jarak antar tulangan : $s \leq \frac{A_1 \cdot b}{A_{Sperlu}} \quad \dots\dots\dots(3.22)$

$$s \leq 2h \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

$$s \leq 250 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(3.24)$$

Diambil jarak antar tulangan (s) yang terkecil, sehingga didapatkan nilai :

$$A_{s_{ada}} = \frac{A_1 \phi \cdot b}{s} \dots\dots\dots(3.25)$$

6. Kontrol Kapasitas Momen Lentur (Mn) Pelat Yang Terjadi

$$a = \frac{A_{s_{ada}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.26)$$

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \geq \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.27)$$

Bila $\rho_{perlu} = 1,33 \cdot \rho_{ada}$, maka :

$$M_n = A_{s_{ada}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \geq 1,33 \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3.28)$$

Untuk tulangan susut/bagi digunakan seluas :

$$A_s \text{ susut/bagi} = 0,002 \cdot b \cdot h$$

3.4. Perencanaan Balok

Pada perencanaan ini digunakan metode kekuatan batas (ultimit),dimana beban kerja dikalikan suatu faktor beban yang disebut beban terfaktor. Dari beban terfaktor ini, dimensi struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga didapat kuat penampang yang pada saat runtuh besarnya kira-kira lebih kecil sedikit dari kuat batas runtuh sesungguhnya. Kekuatan pada saat runtuh disebut kuat batas (ultimit) dan beban bekerja saat runtuh disebut beban ultimit. Kuat rencana penampang didapat dari perkalian kuat nominal/teoritis dengan faktor kapasitas.

Langkah-langkah perencanaan elemen balok adalah sebagai berikut :

1. Menentukan mutu beton dan baja tulangan

- Tegangan leleh baja (fy) : digunakan fy = 400 Mpa

- Kuat desak rencana beton ($f'c$) : digunakan $f'c = 30$ Mpa
didapatkan nilai faktor blok tegangan beton (β_1), sama dengan : (SKSNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.3 butir 7.3)

$$f'c \leq 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f'c > 30 \text{ MPa} \longrightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'c - 30) \geq 0,65 \dots\dots\dots(3.29)$$

2. Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

Dalam menentukan nilai ρ , beton dalam keadaan regangan seimbang, yaitu pada saat regangan beton mencapai maksimum $\epsilon_{cu} = 0,003$ bersamaan regangan baja mencapai leleh $\epsilon_s = \epsilon_y = f_y/E_s$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b \dots\dots\dots(3.31)$$

Dalam perencanaan dipakai nilai ρ : $\rho_{pakai} = 0,5 \cdot \rho_{maks} > \rho_{min} \dots\dots\dots(3.32)$

dimana : ρ_b = rasio tulangan terhadap luas beton efektif dalam keadaan seimbang

ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum

ρ_{pakai} = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

ρ_{min} = rasio tulangan minimum

3. Menentukan tinggi efektif (d) dan lebar (b) penampang beton

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \dots\dots\dots(3.33)$$

$$R_n = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m\right) \quad \dots\dots\dots(3.34)$$

$$b \cdot d^2 = \frac{M_u \cdot \theta}{R_n} \quad \dots\dots\dots(3.35)$$

karena nilai $\frac{M_u \cdot \theta}{R_n}$ diketahui, maka d_{perlu} dan b penampang beton dapat dicari

dengan cara coba-coba (trial and error). Untuk mendapatkan nilai d_{perlu} dan b penampang beton yang proporsional digunakan perbandingan $b/d_{\text{perlu}} = 1,2-3,0$.

Pada beton tulangan sebelah dipakai nilai d_1 :

- $d_1 = 50-70 \text{ mm}$ → untuk tulangan tarik 1 lapis
- $d_1 = 71-100 \text{ mm}$ → untuk tulangan tarik 2 lapis

dimana :

m = Perbandingan isi dari tulangan memanjang dari bentuk yang tertutup

R_n = koefisien tahanan untuk perencanaan kuat

d = tinggi efektif penampang, diukur dari serat atas ke pusat tulangan tarik (mm)

d_1 = tebal selimut beton, diukur dari serat bawah ke pusat tulangan tarik (mm)

M_u = momen lentur ultimit akibat beban luar (Nmm)

Φ = factor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,80 (lentur tanpa aksial)

H = tinggi total penampang beton (mm)

Setelah nilai d_{perlu} didapat, maka :

$$h = d_{\text{ada}} + d_e$$

nilai d_c seperti diatas, tergantung dari banyaknya tulangan tarik yang digunakan.

3.4.1. Perencanaan Balok Penampang Persegi Menahan Lentur

Tulangan Rangkap

Balok lentur tulangan rangkap direncanakan, jika nilai d_{ada} lebih kecil ($<$) d_{perlu}

Langkah-langkah penyelesaiannya sebagai berikut :

1. Menentukan A_s dan Mn_1

$$A_s = \rho_1 \cdot b \cdot d_{ada} \dots\dots\dots(3.36)$$

Diambil $\rho_1 - \rho_{awal} = 0,5 \rho_{maks}$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$Mn_1 = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) < \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(3.38)$$

2. Menentukan Mn_2

$$\frac{Mu}{\phi} \leq Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1 \dots\dots\dots(3.39)$$

dimana : Mn_1 = kuat momen pas. kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik (KNm)

Mn_2 = kuat momen pas. kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan (KNm)

3. Menentukan $As' = As_2$ dan As

Tegangan baja desak :

$$f_s' = 600 \cdot \left[1 - \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y' \cdot d} \right] \dots\dots\dots(3.40)$$

Jika $f_s' \geq f_y$, maka baja desak sudah leleh, sehingga dipakai : $f_s' = f_y$

Jika $f_s' < f_y$, maka baja desak belum leleh, sehingga dipakai : $f_s' = f_s'$

a. Tulangan baja desak sudah leleh

$$As' = \frac{Mn_2}{f_s' \cdot (d - d')} \dots\dots\dots(3.41)$$

$$n = \frac{As'}{A_1}; \quad n \text{ bilangan bulat}$$

$n \geq 2$ batang

$$As = As_1 + As' ; \quad As = As_2 \dots\dots\dots(3.42)$$

dimana : ρ_1 = rasio tulangan yang dipakai dalam perencanaan

As_1 = luas penampang tulangan baja tarik (mm^2)

As_2 = luas penampang tulangan baja tarik tambahan (mm^2)

As' = luas penampang tulangan baja tekan (mm^2)

n = jumlah tulangan yang dipakai (buah)

Pada kondisi ini diasumsikan tulangan tarik dan desak telah luluh paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003, dengan menganggap $f_s = f_s' = f_y$. Untuk kondisi ini $As = As_1 + As_2$, sedangkan $As_2 = As'$, sehingga tinggi balok tegangan tekan:

$$a = \frac{(As - As') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(3.43)$$

atau,

$$a = \frac{As1 \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} \dots\dots\dots(3.44)$$

Sebagai kontrol asumsi yang dipakai benar, maka dilakukan pemeriksaan regangan sebagai berikut:

$$\epsilon s' = \frac{c - d'}{c} \cdot \epsilon c \dots\dots\dots(3.45)$$

$$\epsilon s = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon c \dots\dots\dots(3.46)$$

bila kedua ϵs (nilai regangan) tersebut lebih besar dari ϵy (regangan leleh baja) maka asumsi benar, selanjutnya menghitung momen tahanan nominalnya dengan persamaan:

$$Mn = Mn1 - Mn2 \dots\dots\dots(3.47)$$

$$Mn1 = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) \dots\dots\dots(3.48)$$

atau,

$$Mn1 = As1 \cdot fy \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) \dots\dots\dots(3.49)$$

$$Mn2 = As \cdot fy \cdot (d - d') \dots\dots\dots(3.50)$$

b. Tulangan baja desak belum leleh

Kondisi ini merupakan kondisi dimana anggapan tulangan baja tarik telah luluh sedangkan tulangan baja desak belum luluh pada saat regangan beton mencapai 0,003. Jika $\epsilon s' < \epsilon y$ dan $\epsilon s \geq \epsilon y$, untuk mendapatkan nilai C digunakan persamaan:

$$As \cdot fy = As' \cdot \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) \varepsilon_{cu} E_s + 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \dots\dots\dots(3.51)$$

Dari persamaan kuadrat diatas, maka didapat nilai a dengan

$$C = \frac{a}{0,85} \quad \dots\dots\dots(3.52)$$

$$fs' \cdot \left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) E_s \cdot \varepsilon_c = \frac{C - d'}{C} E_s \cdot \varepsilon_c \quad \dots\dots\dots(3.53)$$

Kuat momen tahanan ideal dari pasangan kopel tulangan baja tekan dengan baja tarik tambahan serta kopel gaya beton tekan dengan tulangan baja tarik dihitung dengan persamaan:

$$Mn1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) \quad \dots\dots\dots(3.54)$$

$$Mn2 = As \cdot fs' \cdot (d - d') \quad \dots\dots\dots(3.55)$$

$$Mn = Mn1 + Mn2 \quad \dots\dots\dots(3.56)$$

SKSNI T-15-1991-03 mensyaratkan bahwa untuk beton bertulangan tahan gempa, kuat momen positif pada sisi muka join tidak boleh kurang dari 50% kuat momen negatif yang disediakan pada sisi muka join tersebut.

3.4.2. PERENCANAAN GESER BALOK

Langkah-langkah menentukan perencanaan tulangan geser balok sebagai berikut :

1. Menentukan tegangan geser beton (V_c)

Tegangan beton biasa dinyatakan dalam fungsi dari $\sqrt{f'c}$ dan kapasitas beton dalam menerima geser menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah sebesar :

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \right) \cdot b \cdot d \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots(3.57)$$

Sedangkan kekuatan minimal tulangan geser vertical menahan geser, dinyatakan dalam :

$$V_{s\min} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d \quad (\text{Newton}) \quad \dots\dots\dots(3.58)$$

2. Menentukan Jarak Sengkang

Berdasarkan kriteria jarak sengkang pada SK SNI T-15-1991-03, adalah sebagai berikut :

- Bila $V_u \leq 0,5 \cdot \Phi \cdot V_c$ (3.59)

Geser tidak diperhitungkan

- Bila $0,5 \cdot V_c < \frac{V_u}{\phi} \leq V_c$ (3.60)

Perlu tulangan geser kecuali untuk struktur sebagai berikut : struktur pelat (lantai, atap, pondasi), balok $h \leq 25$ cm, atau $h \leq 2,5h_f$

Tulangan geser dengan jarak ;

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s\min}} \quad \dots\dots\dots(3.61)$$

$$\leq \frac{d}{2} \quad \dots\dots\dots(3.62)$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

- Bila $V_c < \frac{Vu}{\phi} \leq (V_c + V_{s \min})$ (3.63)

Maka perlu diperhitungkan tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s \min}}$$

$$\leq \frac{d}{2}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

- Bila $(V_c + V_{s \min}) < \frac{Vu}{\phi} \leq 3 \cdot V_c$ (3.64)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{Vu}{\phi} - V_c\right)}$$

$$\leq \frac{d}{2}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

- Bila $3 \cdot V_c < \frac{Vu}{\phi} \leq 5 \cdot V_c$ (3.65)

Maka perlu tulangan geser, dengan jarak sengkang :

$$s \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{Vu}{\phi} - V_c\right)}$$

$$\leq \frac{d}{2}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

- Bila $V_u/\phi > 5.V_c$ (3.66)

Maka ukuran balok diperbesar

dimana : $V_{s_{min}}$ = kuat geser nominal tulangan geser minimal (N)

V_c = tegangan ijin geser beton (MPa)

V_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar (N)

Φ = factor reduksi kekuatan, diambil nilai 0,06 (geser dan torsi)

A_v = luas penampang tulangan geser (mm)

3.5 Perencanaan Kolom

SK SNI T-15-1991-03 memberikan definisi komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Kolom menempati posisi yang sangat penting dalam sistem struktur bangunan, sehingga kegagalan kolom akan berdampak pada komponenen struktur lain yang berhubungan dengannya atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan; sebab kegagalan kolom ini bersifat cenderung mendadak tanpa diawali dengan peringatan yang jelas. Oleh karena itu perencanaan kolom harus diperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan yang lebih dari komponen struktur lainnya.

Kolom merupakan suatu elemen struktur yang mengalami kombinasi beban aksial tekan, momen lentur dan geser. Nilai beban aksial dan nilai geser rencana pada kolom didapat dari perencanaan balok sesuai dengan konsep disain kapasitas *strong column weak beam*.

3.5.1 Momen Kolom

Untuk momen rencana pada kolom sebagai aplikasi dari konsep *strong column-weak beam* maka nilai momen ultimit diambil dari kapasitas lentur pada kedua ujung balok.

$$M_{u,k} = 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha_k \cdot (M_{kap,ki} + M_{kap,ka}) \quad \dots\dots\dots(3.67)$$

Akan tetapi tidak boleh lebih besar dari:

$$M_{u,k} = 1,05 \left(M_D + M_L + \frac{4}{k} M_E \right) \quad \dots\dots\dots(3.68)$$

dengan : M_u = Momen lentur balok portal

M_D = Momen akibat beban mati

M_L = Momen akibat beban hidup

M_E = Momen akibat beban gempa

$M_{kap,ka}$ = Kapasitas momen balok sebelah kanan

$M_{kap,ki}$ = Kapasitas momen balok sebelah kiri

ω = faktor pembebanan dinamis, diambil = 1,3

α = faktor distribusi momen kolom portal

$$M_{kap} = \Phi \cdot M_{nak,b} \quad \dots\dots\dots(3.69)$$

M_{kap} = kapasitas lentur aktual balok pada pusat pertemuan balok kolom dengan memperhitungkan luas tulangan sebenarnya

Φ = faktor penambahan kekuatan, 1,24 untuk $f_y < 400\text{Mpa}$ dan 1,40 untuk $f_y > 400\text{MPa}$

3.5.2 Gaya Aksial Rencana Kolom

Gaya aksial rencana kolom dicari dengan rumus :

$$P_{u,k} = 0,7.Rv.\left(\frac{\sum M_{kap,b}}{l_b}\right) + 1,05.P_g \quad \dots\dots\dots(3.70)$$

Dan tidak boleh lebih besar dari :

$$P_{u,k \max} = 1,05.(P_D + P_L + \frac{4}{k}.P_E) \quad \dots\dots\dots(3.71)$$

dengan :

$\sum M_{kap, ki}$ = Jumlah momen kapasitas sebelah kiri

$\sum M_{kap, ka}$ = Jumlah momen kapasitas sebelah kanan

P_g = $P_D + P_L$

P_u = Aksial terfaktor (Newton)

P_D = Aksial akibat beban mati

P_L = Aksial akibat beban hidup

P_E = Aksial akibat beban gempa

Rv = Faktor reduksi yang nilainya tergantung dari jumlah lantai,

1,0 untuk $1 < n \leq 4$

$1,1 - 0,025 n$ untuk $4 < n \leq 20$

0,6 untuk $n > 20$

n = jumlah lantai bangunan

(keterangan lain sama dengan keterangan pada momen kolom)

3.5.3 Gaya Geser Rencana Kolom

Gaya geser rencana kolom ($V_{u,k}$) merupakan nilai terkecil dari persamaan

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,k} \text{ bawah} + M_{u,k} \text{ atas}}{h'_k} \dots\dots\dots(3.72)$$

$$V_{u,k} = 1,05 \left(V_D + V_L + \frac{4}{k} V_E \right) \dots\dots\dots(3.73)$$

- dengan: V_u = Geser terfaktor
 V_D = Geser akibat beban mati
 V_L = Geser akibat beban hidup
 V_E = Geser akibat beban gempa

3.6 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari struktur gedung yang menahan gaya-gaya yang di atasnya untuk diteruskan ke tanah, disamping itu pondasi juga menahan momen yang bekerja pada kolom. Pada perencanaan gedung ini digunakan pondasi telapak berdasarkan momen dan gaya aksial yang bekerja.

3.6.1 Dimensi luas tapak pondasi (A)

- Untuk beban aksial sentris ($e = 0$)

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{q_{\text{netto}}} \dots\dots\dots(3.74)$$

- dimana : A = luas pondasi telapak
P = gaya aksial kolom
 $q_{\text{ult bruto}}$ = kapasitas daya dukung kotor tanah (kg/cm^2)

- Untuk beban aksial dan momen eksentris ($e \neq 0$)

$$q_{\text{all max}} = \frac{P}{A} + \frac{Mx}{Sx} + \frac{My}{Sy} \dots\dots\dots(3.75)$$

$$A_{\text{perlu}} = \frac{P}{q_{\text{al max}}} + \frac{Mx}{Sx} + \frac{My}{Sy} \dots\dots\dots(3.76)$$

Kemudian lebar (L) dan panjang (P) sisi tapak pondasi diketahui dan diperoleh nilai A_{ada} :

$$A_{\text{ada}} = L.P$$

$$q_u = \frac{P}{A_{\text{ada}}} \dots\dots\dots(3.77)$$

3.6.2 Kontrol kapasitas daya dukung tanah (q_{ult})

Menggunakan rumus *Meyerhorf*: ($D > h$)

$$q_{\text{ult netto}} = q_{\text{ult netto}} - q \dots\dots\dots(3.78)$$

$$\text{dimana : } q = h \cdot \gamma' \dots\dots\dots(3.79)$$

keterangan :

- $q_{\text{ult bruto}}$ = kapasitas daya dukung kotor tanah (kg/cm^2)
- $q_{\text{ult netto}}$ = kapasitas daya dukung bersih tanah (kg/cm^2)
- b = lebar efektif pondasi (m)
- q = beban merata tanah diatas pondasi dibawah permukaan tanah (kg/cm^2)
- γ' = berat volume tanah (kg/cm^3)
- h = kedalaman tanah diatas pondasi (m)

Df = kedalaman pondasi (m)

Kontrol tegangan ijin yang terjadi :

$$q_u \leq q_{all} \text{ Meyerhorf} \dots\dots\dots(3.80)$$

3.6.3 Perencanaan geser pondasi

Perencanaan geser pondasi harus mempertimbangkan arah dari kuat geser. Perencanaan geser yang bekerja pada dua arah didasarkan pada nilai kuat geser (V_u).

a. Geser satu (1) arah

Tebal pelat (h) diasumsikan terlebih dahulu, sehingga nilai d dapat dicari :

$$d = h - \text{penutup beton (Pb)} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{tulangan} \dots\dots\dots(3.81)$$

Gaya geser akibat beban luar (V_u) yang bekerja pada penampang kiri :

$$V_u = C.L.q_u \longrightarrow \text{pada arah - X} \dots\dots\dots(3.82)$$

dimana : $C = \frac{B - a - 2.d}{2} \dots\dots\dots(3.83)$

$$V_u = D.B.q_u \longrightarrow \text{pada arah - Y} \dots\dots\dots(3.84)$$

dimana : $D = \frac{D - b - 2.d}{2} \dots\dots\dots(3.85)$

Kekuatan beton menahan gaya geser (V_c) :

- Arah - X ($B = L$)

$$V_{c_x} = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} L.d \geq V_{u_x} / \phi \dots\dots\dots(3.86)$$

- Arah - Y ($B \neq L$)

$$V_{c_y} = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot P \cdot d \geq V_{u_y} / \phi \quad \dots\dots\dots(3.87)$$

b. Geser dua (2) arah

Gaya geser akibat beban luar yang bekerja pada penampang kritis :

$$V_u = q_u \cdot ((B.L) - (x.y)) \quad \dots\dots\dots(3.88)$$

$$x = a + d \quad \dots\dots\dots(3.89)$$

$$y = b + d \quad \dots\dots\dots(3.90)$$

Kekuatan beton menahan gaya geser (V_c), diambil nilai terbesar diantara :

$$V_{c_1} = 4 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot D \quad \dots\dots\dots(3.91)$$

atau,
$$V_{c_2} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \cdot \left(2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot D \right) \quad \dots\dots\dots(3.92)$$

$$V_{c_2} \leq V_{c_1}$$

$$b_o = 2 \cdot (x + y) = 2 \cdot ((h_k + d) + (b_k + d)) \quad \dots\dots\dots(3.93)$$

$$\beta_c = \frac{\text{sisitapak} > 1,0}{\text{sisipendektapak}}$$

Keterangan :

b_o = keliling penampang kritis (mm^2)

β_c = rasio sisi panjang dengan sisi pendek

Kontrol gaya geser yang terjadi :

- Bila $V_{c_{x,y}} \geq V_{u_{x,y}} / \Phi$, maka tegangan geser aman
- Bila $V_{c_{x,y}} < V_{u_{x,y}} / \Phi$, maka tegangan geser perlu diperbesar

3.6.4 Perencanaan Tulangan Lentur

Arah P

$$Z_1 = \frac{P - h_{kolom}}{2} \dots\dots\dots(3.94)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{u\min} + \left\{ \left(\frac{P - Z_1}{P} \right) \cdot (\sigma_{umak} - \sigma_{u\min}) \right\} \dots\dots\dots(3.95)$$

$$Mu_1 = \left\{ \left(\frac{\sigma_2 \cdot Z_1}{2} \right) \cdot \frac{1}{3} \cdot Z_1 \right\} + \left\{ \left(\frac{\sigma_{umak} \cdot Z_1}{2} \right) \cdot \frac{2}{3} \cdot Z_1 \right\} \dots\dots\dots(3.96)$$

Arah L

$$Z_2 = \frac{B - h_{kolom}}{2} \dots\dots\dots(3.97)$$

$$Mu_2 = \left\{ \left(\frac{\sigma_{umak} + \sigma_{u\min}}{2} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot (Z_2)^2 \right\} \dots\dots\dots(3.98)$$

Untuk arah P maka Mu_1 dan arah L Mu_2

Mencari Mu/Φ ; dengan $\phi = 0,8$

Menentukan diameter tulangan (ϕ)

$$A\phi_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \dots\dots\dots(3.99)$$

$$d_1 = h_{pelat} - 70 - \frac{\phi_{tul}}{2} \dots\dots\dots(3.100)$$

b ambil = 1000 mm

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

Menghitung rasio tulangan :

$$\rho_{\text{ada}} = \frac{1}{m} \cdot \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_n \cdot m}{f_y} \right)} \right\}$$

$$\rho_b = \frac{(0,85 \cdot f_c')}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$\rho_{\text{mak}} = 0,75 \cdot \rho_b$$

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

- Jika $\rho > \rho_{\text{maks}}$ tebal minimum (h) harus diperbesar
- Jika $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{maks}}$ dipakai nilai : $\rho_{\text{pakai}} = \rho$
- Jika $\rho < \rho_{\text{min}}$ dan $1,33 \cdot \rho > \rho_{\text{min}}$ dipakai nilai : $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}}$
- Jika $\rho < \rho_{\text{min}}$ dan $1,33 \cdot \rho < \rho_{\text{min}}$ dipakai nilai : $\rho_{\text{perlu}} = 1,33\rho_{\text{pakai}}$

Menentukan luas tulangan

$$A_s = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d$$

$$A_s \text{ susut} = 0,002 \cdot b \cdot h_{\text{pelat}}$$

$$A_s > A_s \text{ susut} \rightarrow \text{Ok !!}$$

Menentukan Jarak Tulangan

$$S \leq \frac{A\phi_1 \cdot b}{A_s}$$

$$S \leq 2 \cdot h$$

$$S \leq 250 \text{ mm}$$