

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pembebanan

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan harus memenuhi peraturan-peraturan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang aman secara konstruksi. Struktur bangunan yang direncanakan harus mampu menahan beban mati, beban hidup dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1989, pengertian dari beban-beban tersebut adalah seperti yang tercantum di bawah ini.

1. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian (*finishing*), mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.
2. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan atap dan lantai tersebut.
3. Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja dalam gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu, maka yang diartikan dengan gempa disini ialah gaya-

gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa

### 2.1.1 Analisis Pembebanan

Beban yang akan ditinjau dan dihitung dalam perancangan gedung ini disesuaikan dalam Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002).

#### 1) Kuat perlu

- a. Kuat perlu untuk menahan beban mati :

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots(2-1)$$

- b. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup, dan juga beban atap atau beban hujan :

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R \dots\dots\dots(2-2)$$

- c. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup, dan beban angin :

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 R \dots\dots\dots(2-3)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots(2-4)$$

- d. Kuat perlu untuk menahan beban mati, beban hidup, dan beban gempa:

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots(2-5)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots(2-6)$$

Dengan :

$U$  =kuat perlu

$D$  =beban mati

$L$  =beban hidup

$R$  =beban hujan

$W$  =beban angin

$E$  =beban gempa

## 2) Kuat Rencana

Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dari SNI 03-2847-2002, pasal 11.3 ayat 2, faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) ditentukan sebagai berikut :

1. Lentur, tanpa beban aksial.....0,80
2. Beban aksial, dan beban aksial lentur
  - a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur.....0,80
  - b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :
    - Komponen struktur dengan tulangan spiral..... 0,70
    - Konponen struktur lainnya..... 0,65
3. Geser dan Torsi.....0,75

Kecuali pada struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus atau sistem dinding khusus untuk menahan pengaruh gempa :

- a. Faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan gempa yang kuat geser nominalnya lebih kecil daripada gaya geser yang timbul sehubungan dengan pengembangan kuat lentur nominalnya .....0,55

- b. Faktor reduksi untuk geser pada diafragma tidak boleh melebihi faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertikal dari sistem pemikul beban lateral.
- c. Geser pada hubungan balok-kolom dan pada balok perangkai yang diberi tulangan diagonal..... 0,80
4. Tumpuan pada beton kecuali untuk daerah pengangkuran pasca tarik..  
.....0,65
5. Daerah pengangkuran pasca tarik..... 0,85
6. Beton polos struktural..... 0,55

### 2.1.2. Analisis Pembebanan Gempa

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen.

- 1) Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan  $I$  menurut tabel 1 (SNI 03-1726-2002) dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan Gempa Rencana memiliki faktor reduksi gempa  $R$  dan waktu getar alami fundamental  $T_1$ , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen  $V$  yang terjadi di tingkat dasar dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \dots\dots\dots (2-7)$$

Dengan :  $V$  = beban geser dasar nominal  
 $C_1$  = faktor respon gempa  
 $I$  = faktor keutamaan gedung  
 $R$  = faktor reduksi gempa  
 $W_t$  = berat total bangunan

Berat total struktur  $W_t$  ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut ini:

- a. Beban mati total dari struktur bangunan gedung;
- b. Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa;
- c. Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;
- d. Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan gedung harus diperhitungkan.

2) Beban geser dasar nominal  $V$  harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  dengan persamaan:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan:  $F_i$  = beban gempa nominal statik ekuivalen  
 $W_i$  = berat lantai tingkat ke  $i$   
 $z_i$  = tinggi lantai tingkat ke  $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral menurut Pasal 5.1.2 dan Pasal 5.1.3 (SNI 03-1726-2003)  
 $V$  = beban geser dasar nominal  
 $n$  = nomor lantai tingkat paling atas

3) Waktu getar alami fundamental  $T_1$  diperoleh dari output ETABS dengan syarat:

$$T_1 < \zeta \times n \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana:

$T_1$  = Waktu getar alami fundamental.

$\zeta$  = Koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung.

$n$  = Jumlah tingkatnya.

## 2.2. Perencanaan Rangka Atap Baja

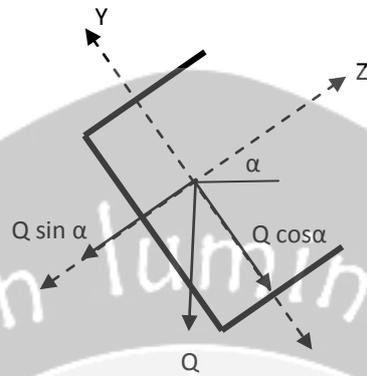
Analisis struktur kuda-kuda baja berdasarkan SNI 03-1729-2002, dimana meliputi perencanaan gording, penentuan kombinasi beban, perhitungan profil kuda-kuda baja, dan perhitungan sambungan.

### 2.2.1 Perencanaan gording

Pada perencanaan gording beban-beban yang mempengaruhi adalah sebagai berikut ini.

1. Beban mati, yang terdiri dari : berat penutup atap, berat sendiri gording, dan penggantung serta berat sagrod.
2. Beban hidup, yang dapat terdiri dari beban terpusat dan beban air hujan.
3. Beban angin, yang terdiri dari beban angin tekan dan beban angin hisap.

Setelah pembebanan direncanakan kemudian menganalisis gording dengan melihat beban arah gravitasi yang diuraikan ke arah sumbu z dan sumbu y



Gambar 2.1 Beban arah gravitasi diuraikan ke arah sumbu z dan sumbu y  
 Dengan kombinasi pembebanan pada gording adalah

- 1)  $1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$
- 2)  $1,2 D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8 W)$

Setelah kombinasi didapatkan, digunakan kombinasi dengan hasil yang terbesar untuk menghitung nilai  $M_z$  (momen yang timbul akibat beban pada arah sumbu y) dan  $M_y$  (momen yang timbul akibat beban pada arah sumbu z).

Untuk perencanaan gording, dilakukan pemeriksaan penampang profil kanal berdasarkan kelangsingan elemen-elemen

1. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 3, penampang kompak adalah untuk penampang-penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ . dengan kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_p \dots\dots\dots (2-10)$$

2. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 4, penampang tak-kompak adalah untuk penampang-penampang yang memenuhi  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ , dengan kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut:  $\lambda$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(2-11)$$

3. Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 8.2 ayat 5, penampang langsing adalah untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_r < \lambda$ .

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \dots\dots\dots(2-12)$$

Dimana,

$$M_r = s (f_y - f_r) \dots\dots\dots(2-13)$$

$$\lambda = \frac{b}{t} \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2-15)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \dots\dots\dots(2-16)$$

dengan:

$\lambda$  = perbandingan lebar terhadap tebal

$b$  = lebar flens

$t$  = tebal flens

$\lambda_p$  = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang kompak

$\lambda_r$  = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang tak-kompak

$f_y$  = tegangan leleh material

$f_r$  = tegangan sisa

$M_n$  = momen nominal.

$M_p$  = momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh.

$M_r$  = momen batas tekuk.

$\lambda_p$  = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang kompak.

$\lambda_r$  = perbandingan maksimum lebar terhadap tebal penampang tak-kompak.

$s$  = modulus penampang elastis.

$f_y$  = tegangan leleh material.

$f_r$  = tegangan sisa.

Dalam perencanaan perlu dihitung momen nominal ( $M_n$ ) terhadap sumbu kuat (sumbu z) dan juga momen nominal terhadap sumbu lemah (sumbu y). Berdasarkan SNI 03-1729-2002, pasal 8.2.1(b), dikatakan bahwa kuat lentur plastis  $M_p$  momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari antara:

$$M_p = f_y \cdot Z \dots\dots\dots (2-17)$$

atau,

$$M_p = 1,5 \cdot M_y = 1,5 \cdot f_y \cdot S \dots\dots\dots (2-18)$$

dengan :

- $M_p$  = kuat lentur plastis
- $f_y$  = tegangan leleh material
- $Z$  = modulus penampang plastis
- $M_y$  = momen leleh
- $S$  = modulus penampang elastis

Dalam perencanaan juga harus dilakukan kontrol terhadap penampang dan lendutan.

Kontrol penampang:

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan:

- $M_{ux}, M_{uy}$  = momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y
- $M_{nx}, M_{ny}$  = kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu-y
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan

Kontrol lendutan:

$$\delta = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\delta \leq \frac{L}{240} \dots\dots\dots (2-21)$$

dengan:

$\delta$  = lendutan

$L$  = panjang batang

### 2.2.2 Desain Batang Kuda-Kuda

Kuda-kuda direncanakan dengan menggunakan dobel profil siku.

Dilakukan perencanaan terhadap batang akibat gaya tekan dan tarik.

#### a. Batang Tekan.

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 9.1, suatu komponen struktur tekan, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$1) \quad N_u \leq \phi_n \cdot N_n \dots\dots\dots(2-22)$$

dengan:

$N_u$  = gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor

$N_n$  = kuat tekan nominal komponen struktur

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan ( $\phi = 0,85$ )

$$2) \quad \text{Kelangsingan komponen struktur tekan, } \lambda = \frac{L_k}{r} \leq 200 \dots\dots\dots(2-23)$$

dengan:

$\lambda$  = faktor kelangsingan

$L_k$  = jarak antara pengekang lateral

$r$  = jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan

#### b. Batang Tarik

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 10.1, suatu komponen struktur tarik, harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \dots\dots\dots(2-24)$$

dengan:

$N_u$  = gaya tarik aksial terfaktor

$\phi N_n$  = kuat tarik rencana

Besarnya kuat tarik rencana  $\phi N_n$  diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga  $\phi$  dan  $N_n$  di bawah ini:

$$\phi = 0,9$$

$$N_n = A_g \cdot f_y \dots\dots\dots(2-25)$$

dan

$$\phi = 0,75$$

$$N_n = A_e \cdot f_u \dots\dots\dots(2-26)$$

dengan:

$A_g$  = luas penampang bruto

$A_e$  = luas penampang efektif

$f_y$  = tegangan leleh

$f_u$  = tegangan tarik putus

### 2.2.3 Sambungan Las

Besarnya gaya rencana untuk sambungan las ditentukan sebagai berikut:

$$N_{u,1} = \frac{N_u (h - c_e)}{h} \dots\dots\dots(2-27)$$

$$N_{u,2} = \frac{N_u (c_e)}{h} \dots\dots\dots(2-28)$$

dari  $N_{u,1}$  dan  $N_{u,2}$  dipilih yang terbesar.

dengan:

$N_u$  = gaya elemen rencana, N

$h$  = tinggi profil siku, mm

$c_e$  = jarak garis netral, mm (ada pada tabel profil)

$N_{u,1}$  = gaya rencana 1, N

$N_{u,2}$  = gaya rencana 2, N

Sambungan las menurut SNI 03-1729-2002 pasal 13.5 ayat 3 butir 10, las sudut yang memikul gaya terfaktor persatuan panjang las,  $R_u$  harus memenuhi:

$$\phi_f R_{nw} \geq R_u \dots\dots\dots(2-29)$$

dengan :

$\phi_f$  = faktor reduksi kekuatan saat fraktur sebesar (0,75)

$R_{nw}$  = kuat nominal sambungan las

$R_u$  = kuat perlu

Kuat rencana las sudut dapat diambil sesuai persamaan (2-27) dan (2-28).

Kekuatan sambungan las ( $R_u$ ) diambil yang terkecil dari persamaan dibawah ini:

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t \cdot 0,6 f_{uw} \text{ (untuk las)} \dots\dots\dots(2-30)$$

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t \cdot 0,6 f_u \text{ (untuk bahan dasar)} \dots\dots\dots(2-31)$$

dengan :

$\phi_f$  = faktor reduksi kekuatan saat fraktur sebesar (0,75)

$t_t$  = tebal rencana las, mm

$f_{uw}$  = tegangan ultimit las, MPa

$f_u$  = tegangan ultimit bahan dasar, MPa

Peraturan SNI 03-1729-2002 pasal 13.5 ayat 3 butir 2 menetapkan ukuran minimum las *fillet* sesuai tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ukuran minimum las *fillet*

Tebal bagian paling tebal (mm)	Tebal minimum las <i>fillet</i> (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Panjang efektif las  $L_e$  ditentukan dengan:

$$L_e = \frac{N_{u,1}}{2R_u} \dots\dots\dots(2-32)$$

### 2.3 Perencanaan Tangga

Dalam merencanakan tangga, tangga dimodelkan sebagai balok tipis dengan lebar 1000 mm.

#### 2.3.1 Perencanaan lentur

Perencanaan tulangan lentur dihitung dengan menggunakan balok bertulangan tunggal, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang adalah seperti berikut ini.

$$C_c = T \dots\dots\dots(2-33)$$

$$0,85.f'_c.a.b = \rho.b.d.f_y \dots\dots\dots(2-34)$$

$$a = \frac{\rho.d.f_y}{0,85.f'_c} \dots\dots\dots(2-35)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$M_n = C_c.(d-0,5.a) \dots\dots\dots(2-36)$$

$$= T_s.(d-0,5.a) \dots\dots\dots(2-37)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2-38)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{M_u}{0,8.b.d^2} \dots\dots\dots(2-39)$$

Penentuan rasio tulangan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85.f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f'_c}} \right) \dots\dots\dots(2-40)$$

Dengan diketahui nilai  $\rho$  maka bisa dicari kebutuhan tulangan lentur yang diperlukan berdasar nilai momen yang terjadi. Batasan tulangan tarik minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.5(4) diambil nilai sebesar tulangan susut. Sedangkan nilai  $\rho$  maksimum untuk tulangan tarik tunggal sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.3(3) ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left( \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2-41)$$

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan seperti berikut.

$$A_{s\ perlu} = \rho_{\ perlu} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-42)$$

$$A_{s\ max} = \rho_{\ max} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-43)$$

$$A_{s\ min} = \rho_g \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2-44)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{s\ min} \leq A_{s\ perlu} \leq A_{s\ max} \dots\dots\dots(2-45)$$

dengan :

$C_c$  = gaya desak beton

$T_s$  = gaya tarik baja

$f'_c$  = kuat tekan beton

$f_y$  = tegangan leleh baja

$c$  = letak garis netral terhadap tepi desak

$a$  = jarak blok desak beton

$b$  = lebar penampang balok

$h$  = tinggi penampang balok

$d$  = tinggi efektif balok

$\rho$  = rasio penulangan

$M_u$  = momen *ultimate* balok

$M_n$  = momen nominal balok

### 2.3.2 Perencanaan Susut

Tulangan susut dipasang tegak lurus terhadap tulangan lentur, berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 9.12(2) tulangan susut dan suhu harus paling sedikit

memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar seperti yang tercantum di bawah ini.

1.  $\rho_g > 0,0014$
2. untuk  $f_y = 300$  MPa,  $\rho_g = 0,0020$
3. untuk  $f_y = 400$  MPa,  $\rho_g = 0,0018$
4. untuk  $f_y > 400$  MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 %,  
 $\rho_g = 0,0018 \times 400/f_y$

Untuk nilai  $f_y = 240$  MPa,  $\rho_g$  didapat dari interpolasi 0,0020 dan 0,0018, yaitu seperti yang tercantum di bawah ini.

$$\rho_g = 0,0018 + \frac{(0,0020 - 0,0018)}{(400 - 300)} \cdot (400 - 240) = 0,00212$$

## 2.4 Perencanaan Balok

### 2.4.1 Estimasi Balok

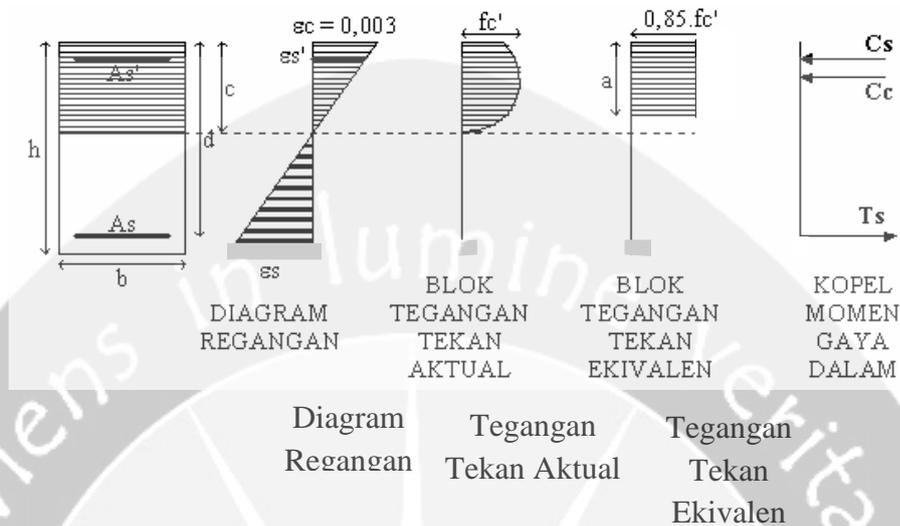
Ukuran balok dapat diestimasi terlebih dahulu dengan ketentuan tinggi minimum berdasarkan Tabel 8, SNI 03-2847-2002,

Tabel 2.2 Tinggi minimum balok

Komponen	Dua tumpuan	Satu ujung	Dua ujung	kantilever
Struktur	sedehana	menerus	menerus	
Balok	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$

Untuk mutu baja  $f_y$  selain 400 Mpa, nilai diatas masih dikalikan dengan  $0,4 - f_y/700$ , Lebar balok dapat digunakan antara  $1/2$  tinggi balok sampai dengan  $2/3$  tinggi balok.

**2.4.2 Perencanaan Tulangan Lentur Balok**



Gambar 2.2 Distribusi tegangan regangan balok.

Gaya desak beton :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(2-46)$$

Gaya desak baja tulangan :

$$C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots(2-47)$$

Gaya tarik baja tulangan :

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2-48)$$

Keseimbangan gaya-gaya horizontal penampang memenuhi :

$$C = T \dots\dots\dots(2-49)$$

$$C_c + C_s = T_s \dots\dots\dots(2-50)$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2-51)$$

Menghasilkan persamaan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2-52)$$

letak garis netral

$$c = a / \beta_1 \dots\dots\dots(2-53)$$

dari persamaan 2-33 jika diasumsikan tulangan baja desak leleh harus memenuhi:

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2-54)$$

$$a \geq \frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s - f_y} \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots(2-55)$$

untuk menunjukkan tulangan desak belum leleh jika :

$$\rho - \rho' \leq \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot d'}{f_y \cdot d} \frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s - f_y} \dots\dots\dots(2-56)$$

jika tulangan desak belum leleh, maka:

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot E_s \dots\dots\dots(2-57)$$

$$\rho = \frac{A_s'}{bd} \dots\dots\dots(2-58)$$

$$\delta = \frac{A_s'}{A_s} \dots\dots\dots(2-59)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot (a \cdot b - A_s') \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \dots\dots\dots(2-60)$$

$$= C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s (d - d') \dots\dots\dots(2-61)$$

$$R_n = \rho \left\{ f_y \left(1 - \delta \frac{f_s'}{y}\right) \left(1 - 0,5 \frac{a}{d}\right) + \delta \cdot f_s' \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right\} \dots\dots\dots(2-62)$$

Dengan tahanan momen  $R_n$  didefinisikan sebagai :

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} \dots\dots\dots(2-63)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2-64)$$

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.3 ayat 3 di tetapkan untuk komponen struktur lentur rasio tulangan  $\rho$  tidak boleh melebihi 75% tulangan baja pada kondisi seimbang.

$$\rho \leq 0,75\rho_b \dots\dots\dots(2-65)$$

Dengan nilai rasio tulangan ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{0,85.f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f'c}} \right) \dots\dots\dots(2-66)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left( \frac{0,85.f'c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2-67)$$

Luas tulangan yang digunakan:

$$A_s = \rho.b.d \dots\dots\dots(2-68)$$

Batasan tulangan minimum sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 12.5 ayat 1, luas tulangan  $A_s$  tidak boleh kurang dari :

$$A_{s,\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4.f_y} . b_w . d \dots\dots\dots(2-69)$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{s,\min} = \frac{1,4}{f_y} . b_w . d \dots\dots\dots(2-70)$$

### 2.4.3 Perencanaan Tulangan Geser

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(2-71)$$

Besarnya kuat geser nominal ( $V_n$ ), yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(2-72)$$

Dengan  $V_c$  adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton dan  $V_s$  adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(1(1)) menetapkan kuat geser beton untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur sebagai berikut ini.

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2-73)$$

Tetapi harus diperhatikan bahwa menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(9)) kuat geser  $V_s$  tidak boleh lebih dari  $V_s$  maksimum, dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2-74)$$

Batasan spasi maksimum tulangan geser ditentukan dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(4(1)) dan 13.5(4(3)).

$$V_s \leq \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2-75)$$

Maka spasi tulangan geser yang dipasang tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm, Apabila kebutuhan tulangan geser lebih besar dari persamaan 3-55, maka spasi maksimum yang diberikan pada SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(4(1))

dan 13.5(4(2)) harus dikurangi setengahnya. Spasi tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang tercantum pada SNI 03–2847–2002, pasal 13.5(6(2)).

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (2-76)$$

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(3) menyatakan gaya geser rencana balok untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah seperti berikut ini.

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\lambda_n} + \frac{W_u \lambda_n}{2} \dots\dots\dots (2-77)$$

$$W_u = 1,2 \cdot DL + 1,0 \cdot LL \dots\dots\dots (2-78)$$

Batas spasi tulangan geser sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(4(2)) pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal tulangan terkecil
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

Dan sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi  $d/2$ .

#### **2.4.4 Perencanaan Tulangan Torsi**

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 ayat 1a pengaruh puntir dapat diabaikan bila:

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots \dots \dots (2-79)$$

- Dimana:  $T_u$  = Momen puntir terfaktor pada penampang.  
 $\Phi$  = Faktor reduksi kekuatan.  
 $P_{cp}$  = Keliling luas penampang beton.  
 $A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6.(2(2a)) pada struktur statis tak tentu, momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat dikurangi menjadi :

$$T_u = \Phi \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \left[ \frac{A_{cp}}{P_{cp}} \right] \dots \dots \dots (2-80)$$

Dari 03-2847-2002 pasal 13.6.(3(1a)), dimensi penampang harus memenuhi :

$$\sqrt{\left[ \frac{V_u}{b_w \cdot d} \right]^2 + \left[ \frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right]^2} \leq \Phi \left[ \frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3} \right] \dots \dots \dots (2-81)$$

Merencanakan tulangan gabungan torsi dan geser

$$\frac{A_{v,total}}{s} = \left[ 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \right] \dots \dots \dots (2-82)$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 ayat 5.2 luas minimum tulangan sengkang harus dihitung dengan ketentuan:

$$A_v + 2A_t = \frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots \dots \dots (2-83)$$

$$A_v + 2A_t = \frac{75 \cdot \sqrt{f_c'}}{1200} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots \dots \dots (2-84)$$

Dari kedua nilai tersebut dipilih yang terbesar.

Keterangan :

- $s$  = spasi tulangan geser  
 $d$  = jarak dari serat tekan ke pusat tulangan tarik  
 $A_v$  = luas tulangan geser  
 $A_t$  = luas tulangan torsi  
 $b_w$  = lebar balok  
 $A_{cp}$  = luas dimensi balok yang diamati  
 $P_{cp}$  = keliling dimensi balok yang diamati  
 $A_{oh}$  = luas tampang balok untuk penulangan  
 $P_h$  = keliling tampang balok untuk penulangan  
 $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton  
 $f_{yv}$  = tegangan luluh baja untuk sengkang  
 $f'_c$  = kuat tekan beton

## 2.5 Perencanaan Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Dalam SNI 03-2847-2002 analisis kuat tekan rencana struktur tekan non-prategang tidak boleh diambil lebih besar dari :

- a. Untuk kolom dengan tulangan sengkang pengikat :

$$P_n = 0,80 \left[ 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right] \dots \dots \dots (2-85)$$

- b. Untuk kolom dengan tulangan spiral:

$$P_n = 0,85 \left[ 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right] \dots \dots \dots (2-86)$$

Menurut SNI 03-2847-2002 kuat tekan rencana tersebut harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan  $\phi$  yang diatur sebagai berikut:

- $\phi = 0,65$  (untuk kolom dengan tulangan pengikat)

$$P_u = 0,65 P_n \dots \dots \dots (2-87)$$

- $\phi = 0,70$  (untuk kolom dengan tulangan spiral)

$$P_u = 0,7P_n \dots\dots\dots(2-88)$$

dengan :

- $P_n$  = kuat tekan rencana
- $P_u$  = kuat tekan ultimit
- $A_g$  = luas tampang brutto
- $A_{st}$  = luas total tulangan lentur
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan

### 2.5.1 Kelangsingan kolom

Kolom langsing didefinisikan sebagai kolom yang mengalami pengurangan kapasitas tekan aksial yang cukup besar akibat pengaruh  $P\Delta$ . Kolom pendek adalah kolom yang keruntuhannya disebabkan karena kelelahan tulangan pada zona tarik dan tekan aksial.

1) Cek batasan angka kelangsingan untuk kolom langsing dengan ketentuan berikut :

- a. Untuk kolom tidak bergoyang atau kolom dengan tumpuan sendi (kolom menggunakan bresing):

$$\frac{k \cdot \ell_u}{r} < 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots(2-89)$$

- b. Untuk kolom bergoyang (kolom tidak diberi bresing)

$$\frac{k \cdot \ell_u}{r} < 22 \dots\dots\dots(2-90)$$

dengan :

- $k$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
- $r$  = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan, boleh diambil 0,3 kali dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, untuk komponen struktur persegi, sama dengan 0,25 kali diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lain  $r$  boleh dihitung dari penampang bruto.
- $\ell_u$  = panjang bersih komponen struktur tekan, diambil sama dengan jarak bersih antara plat lantai dan balok

$M_1, M_2$  = momen-momen ujung terfaktor pada kolom yang posisinya berlawanan

Bila syarat diatas terpenuhi maka kolom dapat dikategorikan sebagai kolom pendek. Jika tidak terpenuhi kolom dikategorikan sebagai kolom langsing/panjang.

### 2.5.2 Tulangan Longitudinal

Dalam perencanaan kolom pada struktur ini digunakan dengan desain kapasitas yang momen rencana kolom dicari menggunakan rumus;

$$\Sigma Me \geq \frac{6}{5} \cdot \Sigma Mg \quad \dots\dots\dots(2-91)$$

Dimana:

$\Sigma Me$  = Jumlah  $Mn$  dua kolom yang bertemu di join

$\Sigma Mg$  = Jumlah  $Mn$  dua balok yang bertemu di join (termasuk sumbangan tulangan pelat \ di selebar efektif pelat lantai

Selain itu kolom yang direncanakan merupakan kolom biaksial. Untuk penyederhanaan perhitungan momen-momen yang bekerja dengan dua arah dijumlahkan dengan penjumlahan vektor, sehingga analisisnya dapat menjadi lebih sederhana yaitu secara uniaksial.

Langkah-langkah perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

1. Menghitung gaya aksial dan momen dua arah yang diperoleh dari hasil analisis struktur.

$$Pn = \frac{Pu}{\Phi} \quad (2-92)$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\Phi} \quad (2-93)$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\Phi} \quad (2-94)$$

2. Menghitung perkiraan kuat momen uniaksial yang bekerja pada struktur yaitu seperti berikut ini:

- a. Untuk  $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} > \frac{b}{h}$  digunakan rumus:

$$M_{noy} : M_{nx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{(1-\beta)}{\beta} + M_{ny} \quad (2-95)$$

- b. Untuk  $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} < \frac{b}{h}$  digunakan rumus:

$$M_{nox} : M_{ny} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{(1-\beta)}{\beta} + M_{nx} \quad (2-96)$$

3. Berdasarkan nilai M dan P yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, kolom dirancang secara uniaksial dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$M_{od} = \frac{M_{nox}}{f'_c \cdot b \cdot h^2} \quad (2-97)$$

$$N_{od} = \frac{P_n}{f'_c \cdot b \cdot h} \quad (2-98)$$

4. Berdasarkan nilai  $M_{od}$  dan  $N_{od}$  yang telah dihitung, dengan menggunakan diagram interaksi yang ada dapat diperoleh rasio tulangan  $\rho_s$ .
5. Menghitung kuat beban uniaksial maksimum tanpa adanya momen yang bekerja (lentur murni,  $\rho_u = 0$ ) dengan rumus :

$$P_o = 0,85 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2-99)$$

6. Menentukan kekuatan penampang dengan menggunakan “*Bresler Reciprocal Load Methode*”, yaitu dengan menjumlahkan kapasitas suatu penampang kolom yang berada dibawah aksial tekan dan lentur dua arah, yaitu:

$$P_n < \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} + \frac{1}{P_o}} \quad (2-100)$$

dengan :

$P_{ox}$  = kuat beban kolom uniaksial maksimum dengan  $M_{nx} = P_n \cdot e_y$ ,

$P_o$  =kuat beban kolom uniaksial maksimum tanpa adanya momen yang bekerja (lentur murni,  $P_u = 0$ )

$P_{oy}$  =kuat beban kolom uniaksial maksimum dengan  $M_{ny} = P_n \cdot e_x$ .

### 2.5.3 Tulangan Transversal

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan seperti berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-101)$$

dimana :

$V_n$  adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan berikut ini:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-102)$$

Dengan:

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.(2), kuat geser yang disumbang oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d \quad (2-103)$$

dan

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (2-104)$$

Dimana:

- $A_v$  = luas tulangan geser
- $V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
- $A_g$  = luas bruto penampang kolom
- $N_u$  = beban aksial terfaktor yang terjadi bersamaan  $w_u$
- $b_w$  = lebar balok
- $f_y$  = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan
- $f'_c$  = kuat tekan beton yang disyaratkan
- $h_x$  = spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang

Batasan spasi tulangan transversal yang dipasang sepanjang  $\ell_0$  dari setiap muka hubungan balok kolom dalam SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(2)) diatur tidak lebih daripada:

1.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil kolom,
2. 6. diameter tulangan longitudinal,
3.  $S_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$ .

Dengan nilai  $S_x$  tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100 mm, dan  $h_x$  adalah spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang.

Tulangan transversal tersebut menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(4)), harus dipasang sepanjang  $\ell_0$  dari setiap muka hubungan balok kolom, dengan panjang  $\ell_0$  ditentukan tidak kurang daripada :

1. tinggi penampang kolom pada muka hubungan balok-kolom,
2.  $\frac{1}{6}$  bentang bersih komponen struktur,
3. 500 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(6)), pada daerah di luar  $\ell_0$  harus dipasang tulangan spiral atau sengkang tertutup dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih daripada nilai terkecil dari:

1. 6 kali diameter tulangan longitudinal,
2. 500 mm.

#### 2.5.4 Hubungan Balok Kolom

Kuat geser nominal hubungan balok kolom tidak boleh diambil lebih besar dari persamaan – persamaan berikut ini.

1. Untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya adalah:

$$1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \quad (2-105)$$

2. Untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan adalah:

$$1,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \quad (2-106)$$

3. Untuk hubungan balok kolom lainnya adalah:

$$1,0 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \quad (2-107)$$

Dimana:

$A_j$  adalah luas efektif hubungan balok kolom.

#### 2.6 Pelat Lantai

Pelat-pelat beton berperilaku sebagai bagian-bagian konstruksi lentur dan perencanaannya adalah serupa dengan balok, meskipun secara umum agak lebih

seederhana. Perhitungan pelat menggunakan satuan lebar  $b = 1$  m, untuk menentukan beban terfaktor digunakan:

$$W_u = 1,2Q_{DL} + 1,6Q_{LL} \quad (2-108)$$

### 2.6.1 Penulangan Pelat Satu Arah

Apabila perbandingan antara panjang dan lebar pelat lebih dari dua maka dapat dikategorikan sebagai pelat satu arah. Tabel 2.3 memperlihatkan kutipan dari SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 ayat 1 mengenai tebal minimum pelat satu arah.

Tabel 2.3 Tebal minimum pelat satu arah

Komponen Struktur	Tebal minimum pelat			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	kantilever
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$

#### Catatan:

1. bentang  $l$  dalam mm,
2. nilai yang digunakan untuk komponen struktur beton normal  $W_c = 2400$  kg/m<sup>3</sup> dan tulangan dengan mutu baja BJTD 40 atau  $f_y = 400$  MPa,
3. apabila  $f_y \neq 400$  MPa, maka harus dikalikan dengan  $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$ .

### 2.6.2 Penulangan Pelat Dua Arah

Apabila perbandingan antara panjang dan lebar pelat kurang atau sama dengan dua maka dikategorikan sebagai pelat dua arah. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 ayat 3.3, tebal pelat dua arah minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan yang tercantum di bawah ini.

- 1) Untuk nilai rata-rata  $\alpha, \alpha_m \leq 0,2$  harus memenuhi:

- a. Pelat tanpa penebalan..... 120mm
- b. Pelat dengan penebalan..... 100mm
- 2) Untuk nilai-nilai  $\alpha = 0,2 < \alpha_m < 2$ , ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{l_n \cdot (0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots(2-109)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

- 3) Untuk nilai rata-rata  $\alpha, \alpha_m \geq 2,0$ , tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \cdot (0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots(2-110)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana:

$\alpha$  = Rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat.

$\alpha_m$  = Nilai rata-rata nilai  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

$\beta$  = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek.

$l_n$  = Panjang bentang bersih (mm)

### 2.6.3 Perencanaan Pelat Lantai

Pemilihan tipe pelat diperoleh dari perbandingan bentang panjang ( $l_y$ ) dengan bentang pendek ( $l_x$ ) dengan syarat sebagai berikut ini:

1. Pelat dua arah.

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad (2-111)$$

## 2. Pelat satu arah.

$$\frac{l_y}{l_x} > 2 \quad (2-112)$$

Menghitung tinggi efektif pelat yang searah sumbu x ( $d_x$ ) dan searah sumbu y ( $d_y$ ) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$d_x = h - (p + 0,5 \cdot \phi_x) \quad (2-113)$$

$$d_y = h - (p + \phi_x + 0,5 \cdot \phi_y) \quad (2-114)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_u}{0,8 \cdot b \cdot d^2} \quad (2-115)$$

Momen lapangan dan tumpuan arah x maupun y dicari dari menggunakan tabel pada buku Gideon halaman 26.

Rasio penulangan ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (2-116)$$

Rasio tulangan maksimum dihitung dengan:

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left( \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2-117)$$

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_s_{perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \quad (2-118)$$

$$A_s_{maks} = \rho_{maks} \cdot b \cdot d \quad (2-119)$$

$$A_s_{min} = \rho_g \cdot b \cdot h \quad (2-120)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_s_{min} \leq A_s_{perlu} \leq A_s_{maks} \quad (2-121)$$

$\rho_{min}$  sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 9.12(2(1)), diambil sebesar tulangan susut yang besarnya sebagai berikut:

1.  $\rho_g$  harus lebih besar dari 0,0014
2. Untuk  $f_y = 300$  MPa,  $\rho_g = 0,0020$
3. Untuk  $f_y = 400$  MPa,  $\rho_g = 0,0018$
4. Untuk  $f_y > 400$  MPa,  $\rho_g = 0,0018 \times 400/f_y$

dengan:

- $h$  = tebal pelat  
 $d$  = tinggi efektif balok  
 $p$  = selimut beton  
 $\phi_x$  = diameter tulangan arah x  
 $\phi_y$  = diameter tulangan arah y  
 $M_n$  = momen nominal  
 $M_u$  = momen ultimit  
 $b$  = lebar pelat = 1000 mm  
 $\beta_1$  = 0,85 untuk  $f'_c \leq 30$  MPa  
 $f_y$  = tegangan leleh baja  
 $f'_c$  = kuat tekan beton yang disyaratkan  
 $\rho$  = rasio penulangan

## 2.7 Perencanaan Fondasi

Daya dukung pondasi *bore pile* mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang.

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2-122)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot P \dots\dots\dots (2-123)$$

Daya dukung tiang dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_p = q_p \cdot A \dots\dots\dots (2-124)$$

Dengan :

- $Q_u$  = Daya dukung ultimit tiang  
 $Q_s$  = Daya dukung ultimit selimut tiang  
 $Q_p$  = Daya dukung ultimit ujung tiang  
 $q_p$  = Tahanan ujung persatuan luas

- $A$  = Luas penampang tiang bor  
 $P$  = Keliling panjang tiang  
 $L$  = Panjang tiang  
 $f$  = Gesekan selimut tiang persatuan luas

*Bore pile* disatukan dalam kelompok dengan menggunakan *poer* yang dianggap kaku sehingga bila beban yang bekerja pada kelompok tiang menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang, *poer* tetap merupakan bidang datar dan gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan rumus:

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{V}{P_{\text{tiang}}} \dots\dots\dots (2-125)$$

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan rumus dan ketentuan sebagai berikut:

$$S \geq 2,5 D \dots\dots\dots (2-126)$$

$$S \leq 3,0 D \dots\dots\dots (2-127)$$

Dimana :

$S$  = Jarak antar tiang

$D$  = Diameter tiang

Perencanaan *poer*

- 1) Kontrol terhadap geser satu arah

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots (2-128)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (2-129)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_o d \dots\dots\dots (2-130)$$

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \dots\dots\dots (2-131)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (2-132)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \dots\dots\dots (2-133)$$

dengan:

- $V_u$  = gaya geser total terfaktor.
- $V_n$  = kuat geser nominal.
- $V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton.
- $P_u$  = daya dukung tiang.
- $b_o$  = penampang kritis.
- $A$  = luas poer.
- $L$  = lebar poer.
- $d$  = tinggi efektif.

## 2). Kontrol terhadap geser *pons*

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (2-134)$$

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots (2-135)$$

Nilai-nilai  $V_c$  harus diambil yang terkecil dari persamaan-persamaan berikut :

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \dots\dots\dots (2-136)$$

$$V_c = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \dots\dots\dots (2-137)$$

$$V_c = \left( \frac{a_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \dots\dots\dots (2-138)$$

$$V_u = Q_u (A - B^2) \dots\dots\dots (2-139)$$

$$B = d + \text{lebar kolom} \dots\dots\dots (2-140)$$

Dimana:  $\beta_c$  = Rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

3) Kontrol pemindahan beban kolom pada pondasi.

$$\phi P_k > \text{Gaya Aksial Rencana} \dots\dots\dots (2-141)$$

$$\phi P_k = 0,7 \cdot [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y] \dots\dots\dots (2-142)$$

Dimana:

$A_{kolom}$  = Luas Penampang kolom

4) Kontrol Beban tiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \dots\dots\dots (2-143)$$

Dengan :

$P$  = Beban maksimum yang diterima tiang

$\sum V$  = Jumlah total beban normal

$n$  = Jumlah tiang dalam satu *poer*

$M_x$  = Momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam *poer*.

$M_y$  = Momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam *poer*

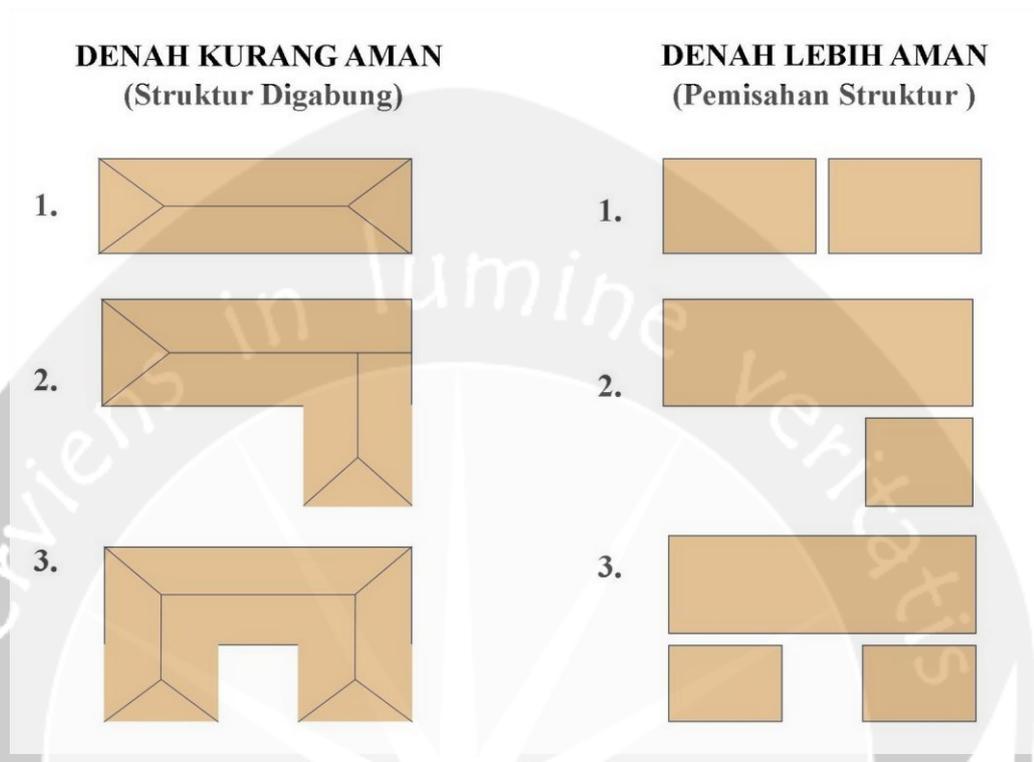
$x$  = Absis tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

$y$  = Ordinat tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$  = Jumlah kuadrat absis tiang pancang

$\sum y^2$  = Jumlah kuadrat ordinat tiang pancang

## 2.8 Dilatasi



Gambar 2.3 Dilatasi pada bangunan

Dilatasi adalah sebuah sambungan / garis pada sebuah bangunan yang karena sesuatu hal memiliki sistem struktur yang berbeda. Dilatasi baik digunakan pada pertemuan antara bangunan yang rendah dengan yang tinggi, antara bangunan induk dengan bangunan sayap, dan bagian bangunan lain yang mempunyai kelemahan geometris.

Disamping itu, bangunan yang sangat panjang tidak sapat menahan deformasi akibat penurunan fondasi, gempa, muai susut, karena akumulasi gaya yang sangat besar pada dimensi bangunan yang panjang, dan menyebabkan timbulnya retakan atau keruntuhan struktural. Oleh karenanya, suatu bangunan yang besar perlu dibagi menjadi beberapa bangunan yang kecil. Dimana tiap

beangunan dapat bereaksi secara kompak dan kaku dalam menghadapi pergerakan bangunan yang terjadi.

Dalam praktiknya terdapat beberapa bentuk pemisahan bangunan yang umum digunakan, diantaranya

1. Dilatasi dengan 2 kolom

Pemisahan struktur dengan dua kolom terpisah merupakan hall yang paling umum digunakan, terutama pada bangunan yang bentuknya memanjang (linear)

2. Dilatasi dengan balok kantilever

Mengingat bentang balok kantilever terbatas panjangnya (maksimal  $1/3$  bentang balok induk), maka pada lokasi dilatasi terjadi perubahan bentang antar kolom, yaitu sekitar  $2/3$  bentang antar kolom.

3. Dilatasi dengan balok *Gerber*

Untuk mempertahankan jarak antara kolom yang sama, maka pada balok kantilever diberi balok *Gerber*. Namun dilatasi dengan balok *gerber* ini jarang digunakan, karena dikuatirkan akan lepas dan jatuh, jika mengalami deformasi arah horizontal yang cukup besar (akibat beban gempa bumi).

4. Dilatasi dengan *konsol*

Meskipun jarak antar kolom dapat dipertahankan tetap sama, namun akibat adanya *konsol*, maka langit-langit pada bentang kolom berikutnya. Dilatasi jenis ini banyak digunakan pada

bangunan yang menggunakan konstruksi prapabrikasi, dimana keempat sisi kolom diberi konsol untuk tumpuan balok prapabrikasi.

