

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 **Beban Struktur**

Pada perancangan struktur bangunan gedung bertingkat tinggi, keamanan struktur merupakan salah satu hal utama yang harus diperhitungkan dengan baik. Yang dimaksud keamanan struktur adalah bangunan yang mampu untuk menopang beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Beban yang bekerja pada suatu bangunan antara lain beban gravitasi dan beban gempa.

##### 2.1.1 **Beban Gravitasi**

Beban gravitasi terbagi menjadi beban mati dan beban hidup, antara lain sebagai berikut:

1. Beban mati adalah beban yang bersifat tetap, tidak berpindah-pindah posisi, dan tidak terpisahkan dari gedung. Macam-macam beban mati antara lain seperti beban sendiri, beban plafond, beban dinding dll.
2. Beban hidup adalah beban yang bersifat tidak tetap dan dapat berpindah posisi. Macam-macam beban hidup antara lain seperti beban manusia, beban meja, beban lemari dll.

### 2.1.2 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang terjadi akibat pergerakan tanah yang menggerakkan semua elemen-elemen struktur sehingga bangunan tersebut menjadi goyang mengikuti arah pergerakan tanah.

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen (SNI 1726-2012, pasal 4.1.1). Adapun kategori risiko untuk beban gempa yang akan disebutkan dalam tabel 2.1 dan faktor keutamaan gempa yang disebutkan dalam tabel 2.2

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

| Jenis pemanfaatan  | Kategori risiko |
|--|-----------------|
| Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gedung penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>                                      | I               |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul> | II              |

Tabel 2.1 (Lanjutan)

| Jenis pemanfaatan   | Kategori risiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV. (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penangan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> | III             |
| <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan-bangunan manumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul>  |                 |

Tabel 2.1 (Lanjutan)

| Jenis pemanfaatan  | Kategori risiko |
|--|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p> | IV              |

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa $I_e$ |
|-----------------|------------------------------|
| I atau II       | 1,0                          |
| III             | 1,25                         |
| IV              | 1,50                         |

(Sumber : SNI 1726-2012)

Menurut SNI 1726-2012 pasal 6, untuk penentuan respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplikasi meliputi faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spectrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (2-1)$$

$$S_{MS} = F_v \cdot S_I \quad (2-2)$$

dengan:

$S_S$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek.

$S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Nilai  $S_s$  dan  $S_I$  ditentukan dari petak gerak seismik. Sedangkan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  didapat dari tabel 2.3 dan tabel 2.4.

Tabel 2.3 Koefisien situs,  $F_a$ 

| Kelas Situs | $S_s$           |             |              |             |                 |
|-------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA          | 0,8             | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8             |
| SB          | 1,0             | 1,0         | 1,0          | 1,0         | 1,0             |
| SC          | 1,2             | 1,2         | 1,1          | 1,0         | 1,0             |
| SD          | 1,6             | 1,4         | 1,2          | 1,1         | 1,0             |
| SE          | 2,5             | 1,7         | 1,2          | 0,9         | 0,9             |
| SF          | $SS^B$          |             |              |             |                 |

(Sumber SNI 1726-2012)

Tabel 2.4 Koefisien situs,  $F_v$ 

| Kelas situs | $S_s$          |             |             |             |                |
|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
|             | $S_s \leq 0,1$ | $S_s = 0,2$ | $S_s = 0,3$ | $S_s = 0,4$ | $S_s \geq 0,5$ |
| SA          | 0,8            | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8            |
| SB          | 1,0            | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0            |
| SC          | 1,7            | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3            |
| SD          | 2,4            | 2           | 1,8         | 1,6         | 1,5            |
| SE          | 3,5            | 3,2         | 2,8         | 2,4         | 2,4            |
| SF          | $SS^B$         |             |             |             |                |

(Sumber SNI 1726-2012)

Parameter percepatan spektral untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan perioda 1,0 detik,  $S_{DI}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2-4)$$

dengan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek

$S_{MS}$  = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek

$S_{DI}$  = parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik

$S_{MI}$  = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu gambar 3.1 dan mengikuti ketentuan dibawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-5)$$

dengan:

$S_a$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda  $T$   
 $S_{DS}$  = parameter percepatan respons spectral pada perioda pendek  
 $T$  = perioda getar fundamental struktur

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-6)$$

dengan:

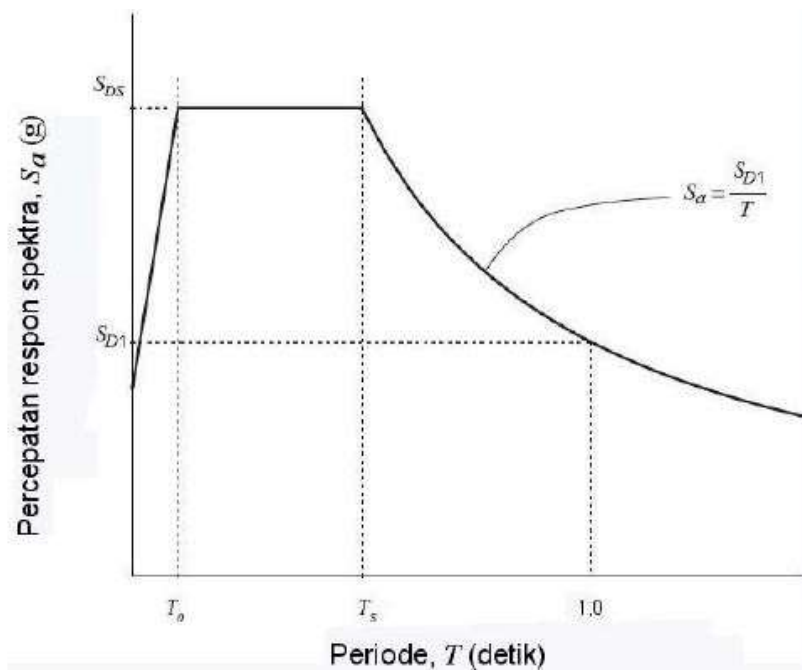
$S_a$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda  $T$   
 $S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek  
 $S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik  
 $T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-8)$$

dengan:

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek  
 $S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik  
 $T$  = perioda getar fundamental struktur



Gambar 2.1 Spektrum respons desain  
(Sumber : SNI 1726-2012)

Kategori desain seismik dibedakan menjadi 2 macam yaitu perioda pendek dan perioda 1 detik yang dipaparkan pada tabel 2.5 dan tabel 2.6

Tabel 2.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$  | C                  | D  |
| $0,50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

| Nilai $S_{D1}$              | Kategori risiko    |    |
|-----------------------------|--------------------|----|
|                             | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,167$            | A                  | A  |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B                  | C  |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$  | C                  | D  |
| $0,20 \leq S_{D1}$          | D                  | D  |

(Sumber : SNI 1726-2012)

## 2.2 Kombinasi Beban

Elemen struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang tertera pada SNI 1726-2012

- a)  $1,4D$  (2-9)
- b)  $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$  (2-10)
- c)  $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$  (2-11)
- d)  $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$  (2-12)
- e)  $1,2D + 1,0E + L + 0,2S$  (2-13)
- f)  $0,9D + 1,0W$  (2-14)
- g)  $0,9D + 1,0E$  (2-15)
- h)  $D$  (2-16)
- i)  $D + L$  (2-17)
- j)  $D + (L_r \text{ atau } R)$  (2-18)
- k)  $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$  (2-19)
- l)  $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$  (2-20)
- m)  $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$  (2-21)
- n)  $0,6D + 0,6W$  (2-22)
- o)  $0,6D + 0,7E$  (2-23)

dengan:

- $D$  = pengaruh dari beban mati  
 $L$  = pengaruh beban hidup  
 $R$  = beban air hujan  
 $W$  = beban angin  
 $E$  = pengaruh beban gempa



### 2.2.1 Kekuatan desain

Menurut SNI 2847-2013, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal yang dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan factor reduksi kekuatan  $\phi$ .

Factor reduksi kekuatan  $\phi$  menurut SNI 2847-2013 dapat dilihat pada table 2.7

Tabel 2.7 Faktor reduksi kekuatan  $\phi$

| No | Keterangan  | $\Phi$   |
|----|---|----------|
| 1  | Penampang terkendali tarik  | 0,9      |
| 2  | Penampang terkendali tekan  | 0,75     |
|    | Komponen struktur dengan tulangan spiral  | 0,65     |
|    | Komponen struktur dengan tulangan lainnya   | 0,65     |
| 3  | Geser dan torsi   | 0,75     |
| 4  | Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)                               | 0,65     |
| 5  | Daerah angkur pasca tarik   | 0,85     |
| 6  | Model strat dan pengikat, dan strat pengikat daerah pertemuan ( <i>nodal</i> ), dan daerah tumpuan dalam model tersebut | 0,75     |
| 7  | Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> kurang dari panjang penyaluran:        |          |
|    | Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer  | 0,75     |
|    | Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran   | 0,75-0,9 |

## 2.3 Perencanaan Elemen Struktur

### 2.3.1 Balok

Balok adalah elemen struktur yang menerima beban dari pelat lantai dan selanjutnya akan disalurkan ke kolom-kolom struktur bangunan. Balok merupakan elemen struktural yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang

bekerja secara transversal terhadap sumbuinya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. (Nawy,1990)

Untuk estimasi dimensi balok dapat dihitung dengan mengacu pada tabel 2.8 untuk mendapatkan tinggi balok minimum sesuai dengan SNI 2847-2013 dan perhitungan untuk lebar balok dapat digunakan rumus pada persamaan (2-24).

$$b = \frac{2}{3} h \quad (2-24)$$

dengan:

$b$  = ukuran lebar balok  
 $h$  = ukuran tinggi balok

#### 1. Penulangan longitudinal

a) Untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari:

$$A_{s(min)} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2-25)$$

$$A_{s(min)} = \frac{1,4 b_w d}{f_y} \quad (2-26)$$

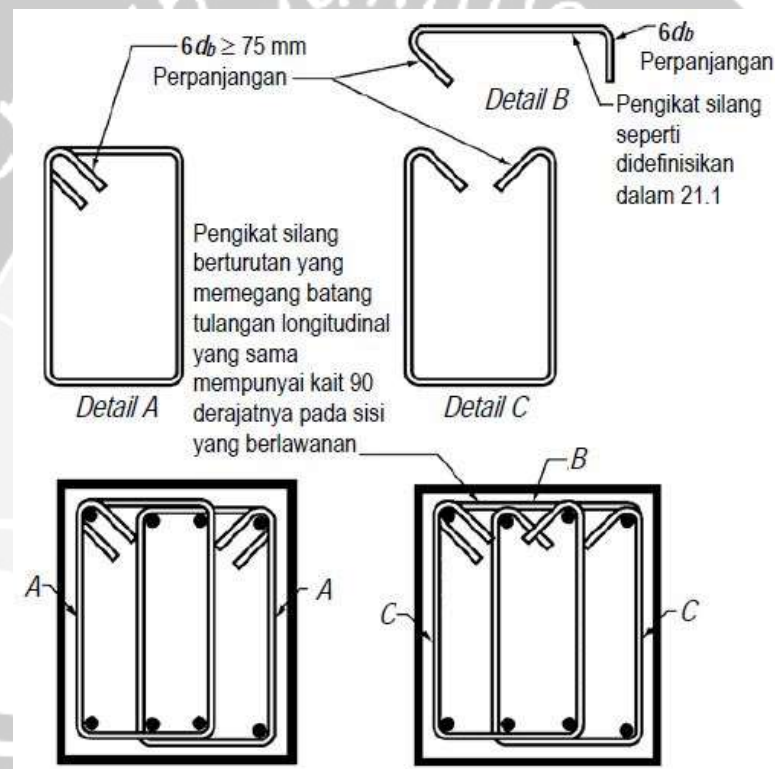
dengan:

$A_{s(min)}$  =luasan minimum tulangan lentur  
 $f'_c$  =kekuatan beton yang disyaratkan  
 $b_w$  =lebar badan  
 $d$  =jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal  
 $f_y$  =kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

b) Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1, pada sebarang penampang komponen struktur lentur, kecuali seperti diberikan dalam a), untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan oleh Pers. (2-25) tetapi tidak kurang dari Pers. (2-26), dan rasio tulangan  $\rho$  tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada dua sisi atas dan bawah.

## 2. Penulangan transversal

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut (Gambar 2.2)



Gambar 2.2 Contoh sengkang tertutup saling tumpang dan ilustrasi batasan pada spasi horizontal maximum batang tulangan longitudinal yang ditumpu

- Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
- Sepanjang panjang-panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastic rangka.

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

- (a)  $d/4$
- (b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- (c) 150 mm

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang komponen struktur.

### 2.3.2 Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang menerima beban dari balok dan diteruskan menuju fondasi. Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur. (Nawy,1990)

#### 2.3.2.1 Kelangsingan kolom

Apabila angka kelangsingan melebihi batas untuk kolom pendek, kolom tersebut akan mengalami keruntuhan tekuk sebelum material mencapai batas leleh.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.3.6, desain beban aksial  $\phi P_n$  dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari  $\phi P_{n,max}$  yang dihitung dengan Pers. (2-27) atau (2-28)

- a. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-27)$$

b. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat

$$\phi P_{n(max)} = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-28)$$

dengan:

- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan
- $P_{n(max)}$  = kekuatan aksial nominal penampang maksimal
- $f'_c$  = kekuatan beton yang disyaratkan
- $A_g$  = luas bruto penampang beton
- $A_{st}$  = luas total tulangan longitudinal
- $f_y$  = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2-29)$$

- Untuk komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 (M_1/M_2) \leq 40 \quad (2-30)$$

dengan:

- $k$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan
- $l_u$  = panjang bersih komponen struktur tekan
- $r$  = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

Rasio tulangan untuk kolom ditetapkan rumus sebagai berikut:

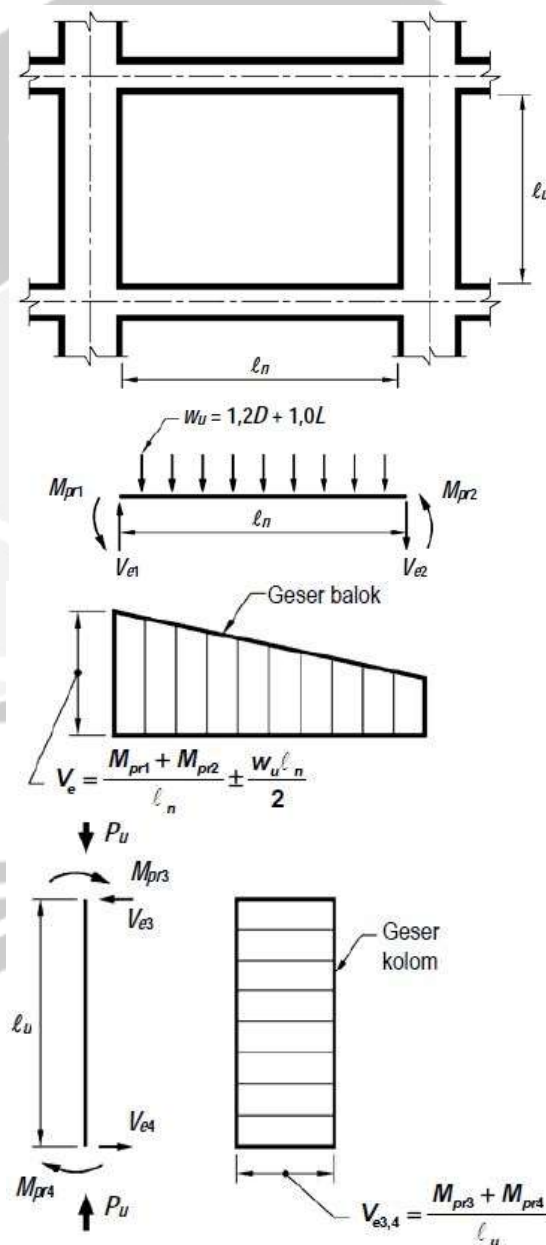
$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (2-31)$$

dengan:

- $\rho_g$  = rasio tulangan kolom
- $A_{st}$  = luas total tulangan longitudinal
- $A_g$  = luas bruto penampang beton

### 2.3.2.2 Kekuatan lentur minimal kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2, kuat lentur kolom harus memenuhi Pers. (2-32).



Gambar 2.3 Geser desain untuk balok dan kolom  
(Sumber : SNI 2847-2013)

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2-32)$$

dengan:

$\sum M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif harus diasumsikan menyumbang kepada  $M_{nb}$  jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

#### 1. Penulangan transversal kolom

Menurut SNI 2817-2013 pasal 21.6.4.1, tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang  $l_o$  dari setiap joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastic rangka. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar (a), (b) dan (c):

- (a) Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi
- (b) Seperenam bentang bersih komponen struktur
- (c) 450 mm

Menurut SNI 2947-2013 pasal 21.6.4.3, spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari

(i), (ii), dan (iii):

- (i) Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- (ii) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil

(iii)  $S_o$  seperti didefinisikan oleh Pers. (2-33)

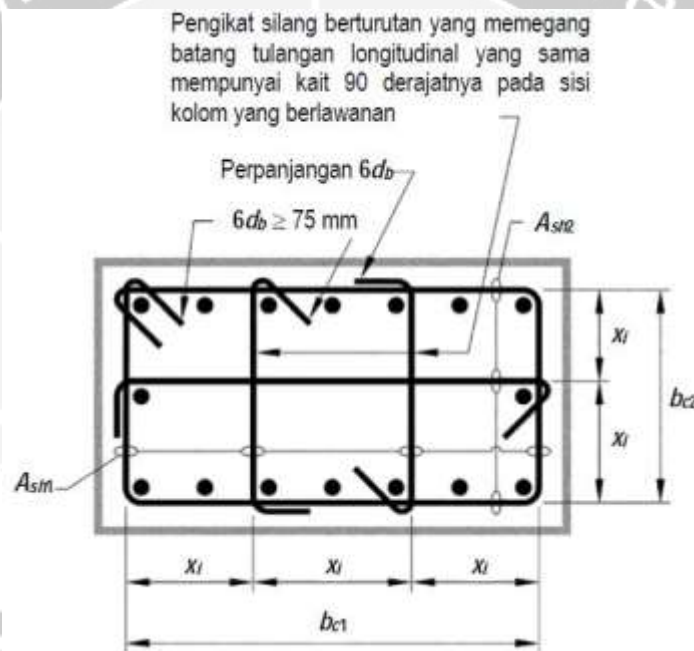
$$S_o = 100 + \left[ \frac{350 - h_x}{3} \right] \quad (2-33)$$

dengan:

$S_o$  = spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang  $l_o$

$h_x$  = spasi horizontal kait silang (sengkang tertutup)

Nilai  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.



Gambar 2.4 Contoh tulangan transversal pada kolom  
(Sumber SNI 2847 – 2013)

## 2. Penulangan longitudinal kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,06A_g$ . tulangan longitudinal minimal 6 buah untuk kolom dengan pengikat spiral dan 4 buah untuk kolom dengan pengikat sengkang.



### 2.3.3 Pelat

Pelat adalah elemen struktur yang menerima beban hidup dan beban mati yang disalurkan menuju balok pada tepi-tepi pelat. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah atau bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus. (Nawy,1990)

#### 2.3.3.1 Pelat Satu Arah

Dapat dikatakan pelat satu arah yaitu apabila perbandingan panjang dan lebar pelat lebih dari dua. Untuk menghitung momen terfaktor dapat menggunakan rumus analisis tampang seperti berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi} \quad (2-34)$$

dengan:

$M_n$  = momen minimal

$M_u$  = momen terfaktor

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

Maka tahanan momennya adalah sebagai berikut

$$R_n = \frac{M_u}{bd^2} = \frac{M_n}{\Phi bd^2} \quad (2-35)$$

dengan:

$R_n$  = tahanan momen

$M_n$  = momen minimal

$M_u$  = momen terfaktor

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

$b$  = lebar penampang

Nilai rasio rasio penulangan ( $\rho$ ) adalah sebagai berikut

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'c}} \right) \quad (2-36)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2-37)$$

dengan:

$M_n$  = momen minimal

$M_u$  = momen terfaktor

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

$R_n$  = tahanan momen

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

$\rho$  = rasio penulangan

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan

$f_c$  = kekuatan tekan beton

Tebal minimum pelat satu arah di atur dalam tabel 2.8 sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2

Tabel 2.8 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

| Komponen Struktur                | Tebal minimal ( $h$ ) |                    |                   |            |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|------------|
|                                  | Dua tumpuan sederhana | Satu ujung menerus | Dua ujung menerus | Kantilever |
| Pelat massif satu arah           | $l/20$                | $l/24$             | $l/28$            | $l/10$     |
| Balok atau pelat rusuk satu-arah | $l/16$                | $l/18,5$           | $l/21$            | $l/8$      |

**CATATAN:**  
 Panjang bentang dalam mm.  
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasikan sebagai berikut:  
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $w_c$ , diantara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi haru dikalikan dengan  $(1,65 - 0,0003w_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09.  
 (b) Untuk  $f_y \neq 420$  MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$

### 2.3.3.2 Pelat Dua Arah

Dapat dikatakan pelat dua arah apabila perbandingan panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua. Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 tebal minimum pelat dua arah diatur pada tabel 2.9.

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya  $h$ , harus memnuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Untuk  $\alpha_{fm}$  yang sama atau lebih dari 0,2, harus menggunakan tabel 2.9
- b) Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0,  $h$  tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2-38)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

dengan:

$h$  = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

$\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek

$\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata rasio kekakuan lentur penampang terhadap kekakuan lentur

- c) Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2-39)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan:

$h$  = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

$\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek

- d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (2-38) atau (2-39) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Tabel 2.9 Tebal minimum pelat tanpa balok interior\*

| Tegangan leleh, $f_y$ MPa <sup>+</sup> | Tanpa penebalan <sup>†</sup> |                                   |                | Dengan penebalan <sup>†</sup> |                                   |                |
|--|------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|  | Panel eksterior              |                                   | Panel interior | Panel eksterior               |                                   | Panel interior |
|  | Tanpa balok pinggir          | Dengan balok pinggir <sup>§</sup> |                | Tanpa balok pinggir           | Dengan balok pinggir <sup>§</sup> |                |
| 280                                    | $l_n/33$                     | $i_n/36$                          | $i_n/36$       | $i_n/36$                      | $i_n/40$                          | $i_n/40$       |
| 420                                    | $i_n/30$                     | $i_n/33$                          | $i_n/33$       | $i_n/33$                      | $i_n/36$                          | $i_n/36$       |
| 520                                    | $i_n/28$                     | $i_n/31$                          | $i_n/31$       | $i_n/31$                      | $i_n/34$                          | $i_n/34$       |

\* Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.  
<sup>+</sup> Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.  
<sup>†</sup> Panel drop.  
<sup>§</sup> Pelat dengan balok diantara kolom kolomnya disepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_{fm}$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber : SNI 2847-2013)

### 2.3.4 Pondasi

#### 2.3.4.1 Bored Pile

Pada dasarnya *bored pile* mampu meneruskan gaya-gaya yang bekerja di atasnya. Dengan adanya hubungan antara kepala-kepala tuang satu dengan lainnya mampu menahan perubahan-perubahan bentuk tertentu ke arah mendatar (tegak lurus terhadap as tiang). (Sardjono, 1988).

Untuk menentukan kedalaman bored pile, diukur dari kedalaman tanah keras yang mampu menahan gaya-gaya yang terjadi pada struktur di atasnya. Daya dukung pondasi dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2-40)$$

$$Q_s = f \times L \times D \quad (2-41)$$

$$Q_p = q_p \times A_b \quad (2-42)$$

dengan

$Q_u$  = daya dukung terfaktor pondasi

$Q_p$  = daya dukung pondasi yang diberikan oleh *point bearing*

$Q_s$  = daya dukung pondasi yang diberikan oleh friksi pada selimut

$f$  = gaya gesek yang terjadi pada tiang

$L$  = panjang tiang

$K$  = keliling tiang

$D$  = diameter tiang

$q_p$  = daya dukung tanah pada ujung pondasi

$A_b$  = luas alas tiang

### 1. Gaya Dukung Kelompok Tiang

Dalam pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang, sangat jarang dan hampir tidak ada yang menggunakan pondasi tiang satu saja melainkan menggunakan lebih dari satu. Dengan begitu, daya dukung pondasi akan berkurang dan terbagi rata dengan jumlah tiang yang ada. Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang, dapat digunakan rumus *Converse-Labarre* sebagai berikut

$$\eta = 1 - \frac{\alpha}{90} \frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \quad (2-43)$$

dengan:

$\eta$  = efisiensi

$m$  = jumlah deret tiang

$n$  = jumlah tiang setiap deret

$\alpha$  = arc tan ( $d/s$ )

$s$  = jarak antar tiang

$d$  = diameter tiang

### 2. Kontrol Pemindahan beban kolom pada pondasi

$$\phi P_k \geq \text{gaya aksial kolom} \quad (2-44)$$

$$\phi P_k = 0,85\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-45)$$

dengan:

$P_k$  = kemampuan menahan gaya aksial kolom

$A_g$  = luas penampang bruto suatu kolom

$A_{st}$  = luas penampang tulangan kolom

### 2.3.4.2 Pilecap

#### 1. Kontrol terhadap geser satu arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-46)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-47)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_0 d \quad (2-48)$$

$$V_u = \sum P_u \quad (2-49)$$

atau

$$V_u = Q_u \times q \times L \quad (2-50)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A_p} \quad (2-51)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar pilecap} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (2-52)$$

dengan:

$V_u$  = gaya geser total terfaktor

$V_n$  = kuat geser

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

$P_u$  = beban terfaktor pada pondasi tiang

$b_0$  = penampang kritis

$A_p$  = luas *pilecap*

$L$  = lebar *pilecap*

$d$  = tinggi efektif

#### 2. Kontrol terhadap geser dua arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-53)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-54)$$

Nilai kuat geser beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \quad (2-55)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2-56)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \quad (2-57)$$

dengan:

- $V_u$  = gaya geser total terfaktor
- $V_n$  = kuat geser
- $V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton
- $\beta_c$  = rasio dimensi panjang terhadap panjang
- $b_o$  = penampang kritis
- $A_p$  = luas *pilecap*
- $f'_c$  = kekuatan tekan beton yang disyaratkan
- $d$  = tinggi efektif
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan