

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Beban Struktur**

Menurut SNI 1727:2013, Beban merupakan gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Berikut merupakan beban-beban yang bekerja pada struktur suatu bangunan :

1. Beban mati adalah beban yang berasal dari berat bagian struktur bangunan yang bersifat tetap, seperti : dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dan lain-lain.
2. Beban hidup adalah beban yang bersifat tidak tetap atau dapat berpindah-pindah posisi, seperti : manusia, kendaraan yang parkir di bagian bangunan, perabotan yang terdapat pada bangunan, dan barang-barang lainnya.
3. Beban gempa adalah beban yang terjadi pada struktur akibat aktivitas pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi.
4. Beban angin adalah beban yang terjadi pada bagian struktur bangunan yang disebabkan oleh pergerakan angin.

## 2.2. Teori Pembebanan

### 2.2.1. Kombinasi beban

Menurut SNI 1726:2012 pasal 4.2.2, Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

$$1,4 D \quad (2-1)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2-2)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2-3)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (2-4)$$

$$1,2 D + 1,0 E + L \quad (2-5)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (2-6)$$

$$0,9 D + 1,0 E \quad (2-7)$$

Keterangan :

$D$  = Beban mati

$L$  = Beban hidup

$R$  = Beban air hujan

$W$  = Beban angin

$E$  = Beban gempa

### 2.2.2. Kekuatan desain

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.3.1, 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 faktor reduksi kekuatan  $\phi$  seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Faktor reduksi kekuatan desain

No	Keterangan	Faktor reduksi kekuatan $\phi$
1	Penampang terkendali tarik	0,9
2	Penampang terkendali tekan	0,75
3	Geser dan torsi	0,75
4	Tumpuan pada beton	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 (a) Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer (b) Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran	0,75 0,75 sampai 0,9

( Sumber : SNI 2847:2013 pasal 9.3.2 Halaman 66 - 67)

### 2.3. Perencanaan beban gempa menurut SNI 1726:2012

Menurut SNI 1726:2012 pasal 8.3.1, Pengaruh beban gempa,  $E$ , ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut ini :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (2-5),  $E$  ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$E = E_h + E_v \quad (2-8)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (2-7),  $E$  ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$E = E_h - E_v \quad (2-9)$$

Keterangan :

$E$  = Beban gempa

$E_v$  = Gaya gempa vertikal

$E_h$  = Gaya gempa horizontal

Menurut SNI 1726:2012 pasal 8.3.1.1 dan pasal 8.3.1.2, pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal ditentukan dengan persamaan :

$$E_h = Q_E \quad (2-10)$$

$$E_v = 0,2.S_{DS}.D \quad (2-11)$$

Keterangan :

$Q_E$  = Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  atau ,  $V_p$

$S_{DS}$  = Parameter percepatan respon spektrum desain pada periode pendek

$D$  = pengaruh beban mati.

### 2.3.1. Respon spektrum

Menurut SNI 1726:2012 pasal 6.2, untuk menentukan respons spectral percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik 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 :

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (2-12)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (2-13)$$

Keterangan :

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

$S_I$  = parameter respons spectral percepatan gempa *MCER* terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Nilai  $S_S$  dan  $S_I$  dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan website dengan alamat berikut ini :

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)

2.3.2. Menentukan kelas situs tanah dan menentukan  $F_a$  dan  $F_v$ Tabel 2.2 Koefisien  $F_a$ 

Kelas	$S_S$				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$
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 <sup>b</sup>				

(Sumber : SNI 1726:2012 Halaman 22)

Tabel 2.3 Koefisien  $F_v$ 

Kelas	$S_S$				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	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 <sup>b</sup>				

(Sumber : SNI 1726:2012 Halaman 22)

### 2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan perioda 1,0 detik,  $S_{D1}$ , ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-14)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-15)$$

Keterangan :

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

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

$S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik

$S_{M1}$  = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik

### 2.3.4. Kategori Risiko

Berikut adalah tabel kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dan faktor keutamaan gempa menurut SNI 1726:2012 pasal 4.1.2.

Tabel 2.4 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 industry</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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>	III

Tabel 2.4 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa  
(Lanjutan)

<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 monumental</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> <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 Halaman 14-15)

Tabel 2.5 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 Halaman 15)

### 2.3.5. Sistem penahan gaya gempa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.2.2, Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $Cd$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat pada Tabel 9 SNI 1726:2012 pasal 7.2.2 halaman 34-37.

### 2.3.6. Periode Fundamental ( T )

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.2, Perioda fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1, Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-16)$$

Tabel 2.6. Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe S	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 15 Halaman 56)

Tabel 2.7. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 14 Halaman 56)

### 2.3.7. Faktor Respons Gempa

Faktor respon gempa dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-17)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons, dilihat pada Tabel 9 SNI 1726-2012

$I_e$  = faktor keutamaan gempa, dilihat pada Tabel 2 SNI 1726-2012

Dengan syarat  $C_s$  :

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \quad (2-18)$$

untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s \text{ min} = \frac{0,5 \cdot S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{hanya untuk } S_1 \geq 0,6 \text{ g}) \quad (2-19)$$

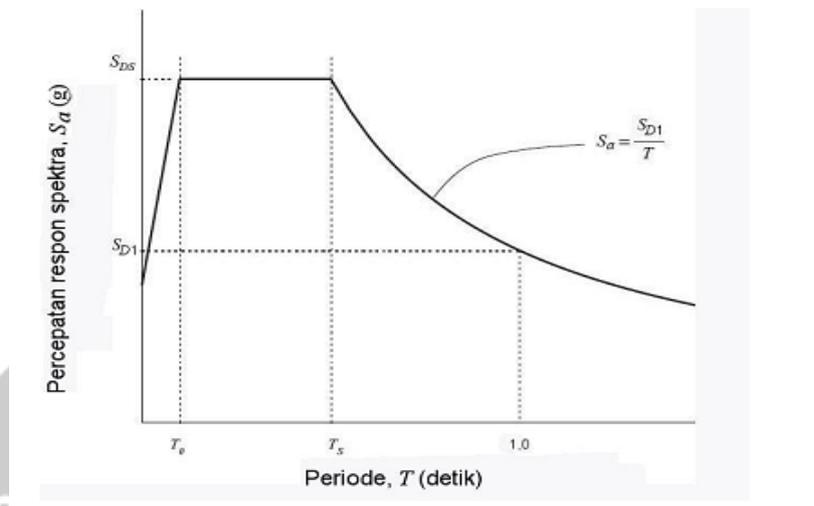
Keterangan :

$S_{D1}$  = parameter percepatan spectrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik

$T$  = Perioda fundamental struktur (detik)

$S_1$  = parameter percepatan spectrum respons maksimum yang dipetakan.

Digunakan  $C_s$  terkecil



Gambar 2.1. Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726:2012 pasal 6.4 Halaman 23)

### 2.3.8. Kategori Desain Seismik (KDS)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spectral pada periode pendek :

Tabel 2.8. Kategori Desain Seismik Berdasarkan  $S_{DS}$ 

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
$0,50 < S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012 Halaman 24)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spectral 1 detik :

Tabel 2.9. Kategori Desain Seismik Berdasarkan  $S_{DI}$

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

(Sumber : SNI 1726:2012 Halaman 25)

### 2.3.9. Gaya Geser Gempa

Gaya geser gempa diperoleh dengan rumus :

$$V = C_s \cdot W \quad (2-20)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

### 2.3.10. Distribusi beban lateral pada setiap lantai

Diperoleh dengan rumus :

$$F_x = C_{vx} V \quad (2-21)$$

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{W_x h_x^k}{W_i h_i^k} \quad (2-22)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (2-23)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (W) (KN)

$W_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x, (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur:

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k=1$

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau kurang,  $k=2$

untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

## 2.4. Perencanaan Elemen Struktur

Struktur bangunan yang akan dirancang adalah elemen struktur seperti pelat, balok, kolom, tangga, dan fondasi.

### 2.4.1. Perencanaan Pelat

Pelat merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi untuk memikul beban mati dan hidup, yang nantinya akan disalurkan ke elemen struktur lainnya seperti balok dan kolom. Pelat terdiri dari dua jenis, yaitu pelat 1 arah dan pelat dua arah.

#### 2.4.1.1 Pelat Satu arah

Untuk melakukan perencanaan pelat satu arah dapat dilakukan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tinggi efektif pelat dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$d = h - d_s \quad (d_s = 25 \sim 30 \text{ mm}) \quad (2-24)$$

2. Nilai kuat geser beton dihitung menggunakan persamaan :

$$\phi V_c \geq V_u \quad (2-25)$$

$$V_c = 0,17\lambda \sqrt{f'_c b_w d} \quad (2-26)$$

Menurut SNI 2847: 2013 pasal 8.6.1, untuk beton normal nilai  $\lambda = 1$ .

### 3. Rasio penulangan

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan :

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f'_c}}\right) \quad (2-27)$$

Rasio penulangan maksimum dihitung dengan persamaan :

$$\rho_{maks} = 0,025 \quad (2-28)$$

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b \quad (2-29)$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600+f_y} \quad (2-30)$$

### 4. Luas tulangan tarik dihitung dengan :

$$A_s = \rho b d \quad (2-31)$$

Keterangan :

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2} \quad (2-32)$$

Rn = Koefisien tahanan

Mn = Momen minimal

Mu = Momen terfaktor

b = lebar penampang

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan (diasumsikan) 0,9

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan

$f'_c$  = kekuatan tekan beton

$\rho$  = rasio penulangan

Tebal pelat satu arah harus memenuhi ketentuan tabel 9.5(a) pada SNI 2847: 2013 pasal 9.5.2, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.10 Tebal minimum pelat satu arah

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
Keterangan: Panjang bentang dalam mm. Untuk $f_y$ selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$				

(Sumber : SNI 2847: 2013 - Tabel 9.5(a))

### 2.4.1.2 Pelat 2 arah

Untuk melakukan perencanaan pelat dua arah dapat dilakukan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

#### 1. Tebal minimum pelat

Menurut SNI 2847 : 2013, pasal 9.5.3.3, untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h$ , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

a). Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0,2$ , harus menggunakan tabel 2.11 :

Tabel 2.11 Tebal minimum pelat dua-arah

Tegangan leleh (MPa) $f_y$	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

- 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.
- Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
- Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
- Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_f$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber : SNI 2847 : 2013 - Tabel 9.5 (c))

b). Untuk  $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2,0$  , nilai h tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2-33)$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

c). Untuk  $\alpha_{fm} > 0,2$ , h tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2-34)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

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 pada persamaan (2-33) dan (2-34) harus dinaikkan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

2. Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5, Pada dinding dan slab selain dari konstruksi balok jois beton, tulangan lentur utama harus berspasi tidak lebih jauh dari tiga kali tebal dinding atau slab, ataupun tidak lebih jauh dari 450 mm.

#### 2.4.2. Perencanaan balok

Balok merupakan elemen struktur bidang horizontal yang berfungsi untuk menerima beban mati dan hidup dari pelat lantai, yang selanjutnya akan disalurkan ke kolom.

Untuk melakukan perencanaan balok digunakan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Penentuan dimensi balok

a. Tinggi (h)

Untuk memperoleh tinggi minimum balok, digunakan tabel 2.10 yang mengacu pada SNI 2847 : 2013 tabel 9.5 (a). Menurut Tabel 9.5 (a) pada SNI 2847:2013, tebal minimum balok bila lendutan tidak dihitung,

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (2-35)$$

b. Lebar (b)

Perhitungan untuk lebar balok dapat digunakan persamaan :

$$b = 1/2 h \sim 2/3 h \quad (2-36)$$

Keterangan:

$b$  = ukuran lebar balok

$h$  = ukuran tinggi balok

c. Tinggi efektif (d)

Untuk menghitung tinggi efektif (d), digunakan persamaan berikut:

$$d = h - d_s \quad (2-37)$$

## 2. Perhitungan tulangan

Pada balok, dihitung 2 jenis tulangan yaitu tulangan longitudinal dan tulangan geser balok.

### a. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 21.5.2.2, Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.

$$R_n = \sqrt{\frac{M_u}{0,9 b_w d^2}} \quad (2-38)$$

Menentukan nilai  $\rho$ , dimana nilai  $\rho$  dipilih yang terbesar antara

$\rho_{perlu}$  dan  $\rho_{min}$ .

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}} \right) \quad (2-39)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau,} \quad \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (2-40)$$

$$\rho_{maks} = 0,025 \quad (2-41)$$

$$A_{s\ perlu} = \rho b_w d \quad (2-42)$$

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 21.5.2.1, Untuk tulangan atas maupun tulangan bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan oleh persamaan :

$$A_s (\text{min}) = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \quad (2-43)$$

Tetapi tidak kurang dari persamaan :

$$A_s (\text{min}) = \frac{1,4 b_w d}{f_y} \quad (2-44)$$

Keterangan :

$A_s (\text{perlu})$  = luas perlu tulangan lentur

$A_s (\text{min})$  = luas minimum tulangan lentur

$f'c$  = kekuatan beton

$b_w$  = lebar balok

$d$  = tinggi efektif balok

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas Tulangan}} \quad (\text{Pembulatan ke atas}) \quad (2-45)$$

#### b. Perhitungan tulangan geser balok

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 21.5.4.1, Gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka *joint*. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan

momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka *joint* dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

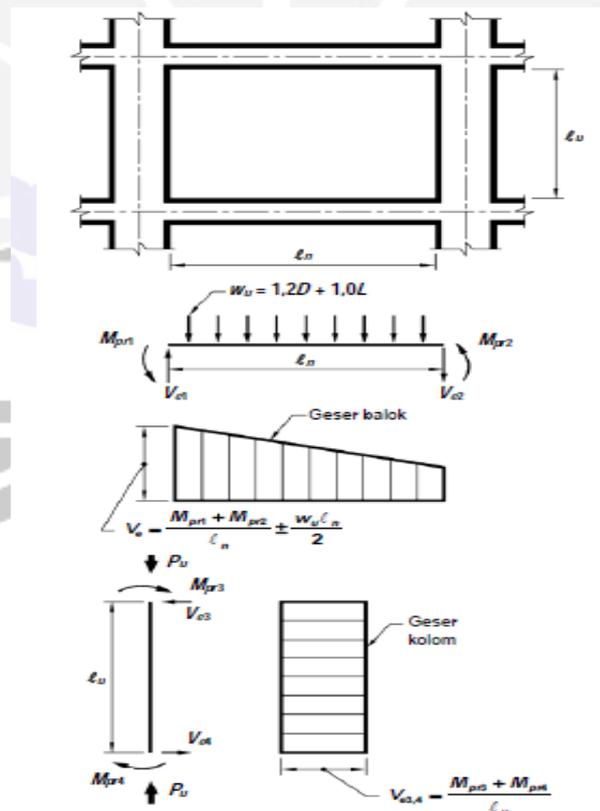
Nilai kuat lentur maksimum tulangan ( $M_{pr}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-46)$$

Keterangan :

$M_{pr}$  = Kuat lentur maksimum tulangan

$A_s$  = Luas tulangan yang digunakan



Gambar 2.2 Geser desain untuk balok dan kolom

(Sumber : SNI 2847 : 2013 pasal 21.6.2.2 gambar S 21.5.4)

Menurut SNI 2847 2013 Pasal 11.2.1.1, kekuatan kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur yaitu :

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-47)$$

Dengan  $\lambda = 1$

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 21.6.5.2,  $V_c = 0$  bila (a) dan (b) terjadi:

- a. Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan gambar 2.2, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$  ;
- b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $10 A_g f'_c / 10$  .

Kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2-48)$$

Nilai  $V_s$  tidak boleh melebihi nilai  $V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-49)$

Menurut SNI 2847 2013 pasal 11.4.7.2, Bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-50)$$

Maka, untuk menghitung spasi tulangan geser, dapat digunakan persamaan berikut :

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2-51)$$

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 21.5.3.2, 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 tidak termasuk tulangan kulit longitudinal yang disyaratkan oleh SNI 2847 : 2013 pasal 10.6.7; dan ;
- (c) 150 mm.

#### 2.4.3. Perencanaan kolom

Kolom merupakan elemen struktur bidang vertikal yang berfungsi menerima beban mati dan hidup yang berasal dari balok, yang akan disalurkan ke elemen struktur yang berada di bawahnya.

Tahapan dalam perencanaan kolom, sebagai berikut :

##### 1. Perhitungan dimensi Kolom

Pada pengestimasian dimensi kolom, beban pada balok yang menumpu pada kolom tersebut harus dihitung terlebih dahulu.

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 10.3.6, Desain beban aksial  $\phi P_n$  komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari  $\phi P_{n_{max}}$ , yang dihitung dengan persamaan berikut :

Untuk komponen struktur dengan tulangan pengikat

$$\phi P_{n_{max}} = 0,85\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-52)$$

Untuk komponen struktur dengan tulangan spiral

$$\phi P_{n_{max}} = 0,8\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-53)$$

Keterangan :

$\phi$  = 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

## 2. Pengaruh kelangsingan pada kolom

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

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

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2-54)$$

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

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (2-55)$$

Dimana  $M_1/M_2$  adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

### 3. Kekuatan lentur minimum kolom

Kuat lentur kolom yang dirancang harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847 2013 Pasal 21.6.2.1, yaitu sebagai berikut :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2-56)$$

Keterangan :

$\sum M_{nc}$  = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

$\sum M_{nb}$  = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

### 4. Desain geser kolom

Menurut SNI 2847 2013 pasal 21.5.4.1, gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari kuat momen maksimum  $M_{pr}$  dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu dengan balok kolom.

Menurut pasal 11.1 SNI 2847 2013 tentang perencanaan penampang geser harus memenuhi :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-57)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-58)$$

Keterangan

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  = kuat geser yang nominal disediakan oleh tulangan geser

Menurut SNI 2847 2013 pasal 11.2.1.2, kuat geser untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2-59)$$

Untuk memperoleh nilai  $V_s$ , dapat digunakan persamaan (2-50)

Keterangan :

$A_v$  = 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

$B_w$  = lebar balok

$f_y$  = tegangan leleh baja

$f'_c$  = kuat tekan beton

#### 2.4.4 Hubungan Kolom Balok

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.1, persyaratan berikut berlaku untuk *joint* balok-kolom rangka momen khusus yang membentuk bagian system penahan gempa:

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka join harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25 f_y$ .
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inti kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.5 dan dalam kondisi tekan SNI 2847:2013 pasal 12.
3. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui join balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok terbesar untuk beton normal (*normal weight*).

#### 2.4.5 Perencanaan fondasi *bored pile*

Fondasi *bored pile* adalah jenis fondasi dalam yang berbentuk tabung, yaitu berfungsi meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai lapisan tanah keras di bawahnya. (Dikutip dari : <http://www.borepile.info/2014/09/pondasi-bored-pile-strauss.html> )

Langkah-langkah perencanaan fondasi bored pile yaitu sebagai berikut :

### 1. Daya dukung fondasi

Untuk mencari nilai daya dukung fondasi bore pile dapat digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2-60)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot D \quad (2-61)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (2-62)$$

Keterangan :

$Q_u$  = daya dukung ultimit tiang

$Q_p$  = daya dukung ultimit ujung tiang

$Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang

$q_p$  = daya dukung tanah pada ujung fondasi

$D$  = keliling penampang tiang

$L$  = panjang tiang

$f$  = gesekan selimut tiang persatuan luas.

$A_b$  = luas ujung tiang

### 2. Kelompok tiang

Untuk menentukan jumlah kebutuhan tiang dalam kelompok tiang dapat menggunakan persamaan :

$$n = \frac{P}{Q_u} \quad (2-63)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah kebutuhan tiang

$Q$  = Daya dukung tiang

$P$  = Beban aksial yang diberikan

Pada penjumlahan tiang dalam kelompok, jarak antar tiang harus memenuhi syarat-syarat berikut :

a. Jarak antar tiang

$$S \rightarrow 2,5D \leq S \leq 3,0 D$$

b. Jarak tiang ke tepi

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D$$

Keterangan :

$S$  = Jarak antar tiang.

$D$  = Diameter tiang.

Efisiensi Kelompok Tiang :

$$E_g = \frac{2(m+n-2)s+4D}{p.m.n} \quad (2-64)$$

Efisiensi Kelompok tiang formula converse-labarre

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{90} \left[ \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90.m.n} \right] \quad (2-65)$$

$\theta = \text{arc tan } (D/s)$

Efisiensi Kelompok tiang formula Los Angeles

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}] \quad (2-66)$$

Keterangan :

m = Jumlah tiang pada 1 baris.

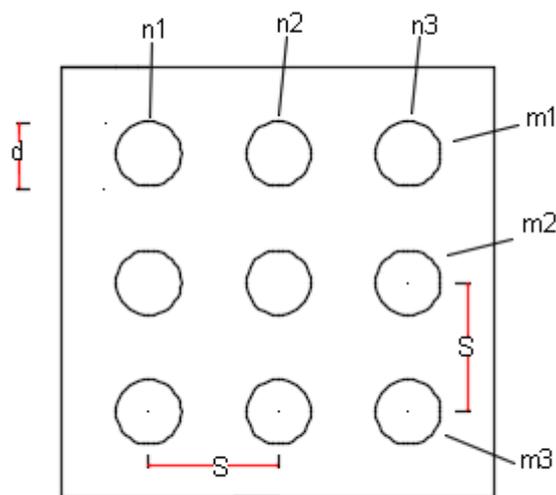
n = jumlah tiang pada 1 kolom.

S = jarak antar tiang.

D = diameter atau sisi tiang .

p = keliling dari penampang tiang.

Eg = Efisiensi Kelompok Tiang.



Gambar 2.3 Kelompok Tiang

## 3. Cek geser

## a. Kontrol terhadap Geser 1 arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-67)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-68)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2-69)$$

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \quad (2-70)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2-71)$$

$$q = \frac{1}{2} L - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (2-72)$$

Keterangan :

$V_u$  = gaya geser total terfaktor

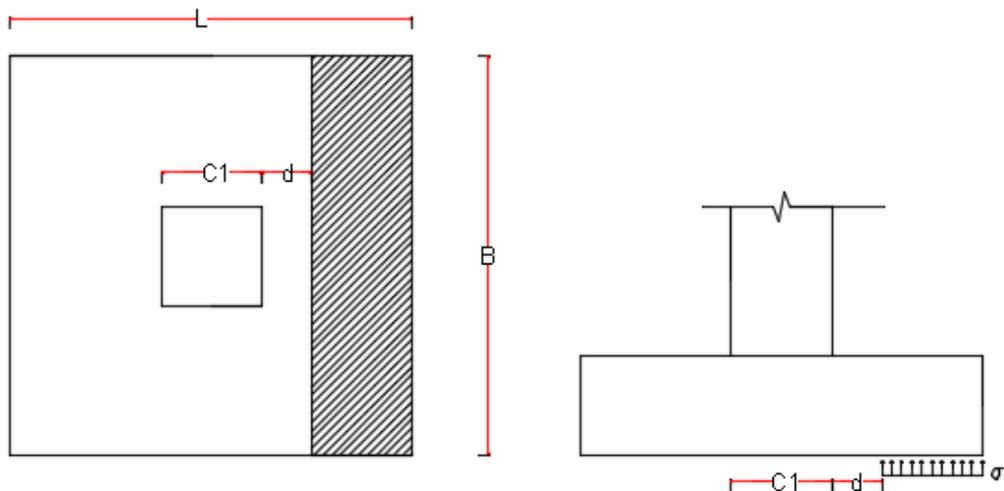
$P_u$  = daya dukung tiang

$b_o$  = penampang kritis

$A$  = Luas *pilecap*

$d$  = tinggi efektif

$L$  = Lebar *pilecap*



Gambar 2.4 Kontrol Geser Terhadap 1 Arah

b. Kontrol terhadap Geser 2 arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-73)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-74)$$

Nilai  $V_c$  diambil yang terkecil dari hasil persamaan – persamaan berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'c}}{6} b_o d \quad (2-75)$$

$$V_c = \left(\frac{a_s d}{b_o}\right) \frac{\sqrt{f'c}}{12} b_o d \quad (2-76)$$

$$V_u = Q_u (A - L)^2 \quad (2-77)$$

Keterangan :

$V_u$  = gaya geser total terfaktor

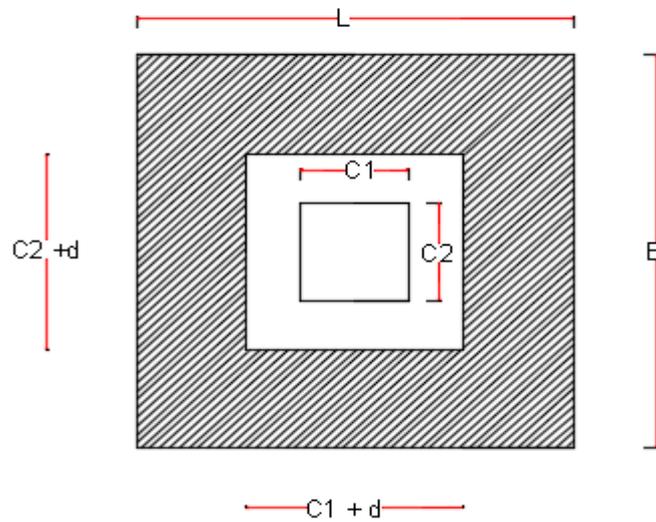
$b_o$  = penampang kritis

$A$  = Luas *pilecap*

$d$  = tinggi efektif

$L$  = Lebar *pilecap*

$\beta$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom.



Gambar 2.5 Kontrol Geser Terhadap 2 Arah

#### 4. Perencanaan Tulangan bored pile

Perencanaan *bored pile* harus memenuhi:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2-78)$$

$$P_n = 0,8 [0,85 \cdot f'c(Ag - Ast) + fy \cdot Ast] \quad (2-79)$$

$$P_u = q_u \cdot A \quad (2-80)$$

$$A_g = 1/4 \cdot \pi \cdot (D)^2 \quad (2-81)$$

$$A_{st} = n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot (D_{tulangan})^2 \quad (2-82)$$

Keterangan:

$P_n$  = Kuat tekan rencana penampang

$P_u$  = Kuat tekan yang bekerja

$q_u$  = Daya dukung ujung tiang

$A$  = Luas dasar fondasi

$A_g$  = Luas penampang *bored pile*

$A_{st}$  = Luas tulangan *bored pile*

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$\phi = 0,75$ , untuk kolom dengan penulangan spiral

$\phi = 0,65$ , untuk kolom dengan penulangan segi empat.

