

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Elemen Struktur

##### 3.1.1. Kuat Perlu

Kuat yang diperlukan untuk beban-beban terfaktor sesuai pasal 4.2.2. dan pasal 7.4.2 SNI 1726:2012 sebagai berikut:

1.  $U = 1,4D$  (3-1)
2.  $U = 1,2D + 1,6L$  (3-2)
3.  $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$  (3-3)
4.  $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex - 0,3Ey$  (3-4)
5.  $U = 1,2D + 1,0L - 1,0Ex - 0,3Ey$  (3-5)
6.  $U = 1,2D + 1,0L - 1,0Ex - 0,3Ey$  (3-6)
7.  $U = 1,2D + 1,0L + 0,3Ex + 1Ey$  (3-7)
8.  $U = 1,2D + 1,0L + 0,3Ex - 1Ey$  (3-8)
9.  $U = 1,2D + 1,0L - 0,3Ex - 1Ey$  (3-9)
10.  $U = 1,2D + 1,0L - 0,3Ex - 1Ey$  (3-10)
11.  $U = 0,9D + 1,0Ex + 0,3Ey$  (3-11)
12.  $U = 0,9D + 1,0Ex - 0,3Ey$  (3-12)
13.  $U = 0,9D + 1,0L + 0,3Ey$  (3-13)
14.  $U = 0,9D - 1,0Ex - 0,3Ey$  (3-14)
15.  $U = 0,9D + 0,3Ex + 1,0Ey$  (3-15)
16.  $U = 0,9D + 0,3Ex - 1,0Ey$  (3-16)
17.  $U = 0,9D - 0,3Ex + 1,0Ey$  (3-17)
18.  $U = 0,9D - 0,3Ex - 1,0Ey$  (3-18)

Keterangan :  $U$  = kuat perlu  
 $D$  = beban mati  
 $L$  = beban hidup  
 $E_x$  = beban gempa (arah x)  
 $E_y$  = beban gempa (arah y)

### 3.1.2. Kuat Desain

Kuat desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kuat nominal dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) ditentukan berdasarkan pasal 9.3 SNI 2847:2013.

Table 3.1. Faktor Reduksi Kekuatan Desain

No.	Keterangan	Faktor reduksi ( $\phi$ )
1.	Penampang terkendali tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
7.	Penampang lentur komponen struktur pra Tarik :	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran $\phi$ boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 sampai 0,9

(sumber SNI 2847:2013 pasal 9.3)

### 3.2 Menentukan klasifikasi situs

Pada SNI 1726:2012 pasal 5.1, memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu, berikut klasifikasi kelas situs.

Tabel 3.2. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC(tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{S}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifikasi situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: -Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah terementasi lemah. - Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) -Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) -Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(sumber SNI 1726:2012 pasal 5.3)

Dalam klasifikasi situs, profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan dari nomor ke-1 hingga ke- $n$  dari atas ke bawah, sehingga ada total  $n$ -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut.

Untuk mendapatkan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser  $\bar{V}_s$ , tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata  $\bar{N}$  dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif  $\bar{N}_{ch}$  serta kuat geser niralir rata-rata  $\bar{s}_u$  harus melalui langkah berikut ini:

1. Nilai kecepatan rata-rata Gelombang Geser,  $\bar{V}_s$

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (3-19)$$

Dimana:

$d_i$  = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 m

$v_{si}$  = kecepatan gelombang geser lapisan  $i$  dinyatakan dalam meter perdetik (m/detik)

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30m$$

2. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata  $\bar{N}$  dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif  $\bar{N}_{ch}$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3-20)$$

Dimana  $\bar{N}_i$  dan  $d_i$  dalam persamaan (2-20) berlaku untuk tanah non-kohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3-21)$$

Dimana  $N_i$  dan  $d_i$  dalam persamaan (3-21) berlaku untuk tanah non-kohesif saja, dan

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s \sum_{j=1}^m d_j = d_s \quad (3-22)$$

Dimana

$d_s$  = ketebalan total lapisan tanah non-kohesif 30m paling atas

$N_i$  = tahanan penetrasi standar 60 persen energi ( $N_{60}$ ) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi dengan nilai  $\leq 305$  pukulan/m.

3. Kuat geser niralir rata-rata  $\bar{s}_u$

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (3-23)$$

Dimana:

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (3-24)$$

Keterangan:

$d_c$  = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 meter paling atas. (m)

$PI$  = indeks plastisitas

$w$  = kadar air (%)

$S_{ui}$  = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa

### 3.3. Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Beban gempa merupakan salah satu beban yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan gedung. Berikut adalah urutan perencanaan beban gempa (Arfiadi, 2014).

#### 3.3.1. $S_s$ dan $S_1$

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  ditentukan berdasarkan web desain spectra Indonesia

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

#### 3.3.2. Menentukan kelas situs tanah dan menentukan $F_a$ dan $F_v$

Tabel 3.3. Koefisien  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
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	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

( dikutip dari Tabel 4-SNI 1726:2012, halaman 22)

## CATATAN:

- a. Untuk nilai-nilai antara Ss dapat dilakukan interpolasi linier
- b. SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Tabel 3.4. Koefisien Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda, 1 detik, S1				
	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S1 \geq 0,5$
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 <sup>b</sup>				

( dikutip dari Tabel 4-SNI 1726:2012, halaman 22)

## CATATAN:

- a. Untuk nilai-nilai antara S1 dapat dilakukan interpolasi linier.
- b. SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

### 3.3.3. Koefisien-koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ )

Pada pasal 6.2 pada SNI 1726, untuk penentuan respons spektral gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan

periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3-25)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3-26)$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek;

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti tabel 3.3. dan 3.4.

### 3.3.4. Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Pada SNI 1726 pasal 6.3., Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3-27)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3-28)$$

### 3.3.5 Kategori Risiko

Kategori risiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai table 3.5, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.8.

Tabel 3.5. Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah Jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</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
<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 kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> </ul>	III

( dikutip dari Tabel 1-SNI 1726:2012, halaman 14-15)

(Lanjutan)Tabel 3.5. Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas penitipan anak</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, penanganan, 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>yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan 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> </ul>	IV

( dikutip dari Tabel 1-SNI 1726:2012, halaman 14-15)

### 3.3.6. Kategori Desain Seismik (KDS)

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

Tabel 3.6. KDS 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

( dikutip dari Tabel 6-SNI 1726:2012,halaman 24)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spectral 1 detik sebagai berikut:

Tabel 3.7. KDS Berdasarkan  $S_{D1}$

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

( dikutip dari Tabel 6-SNI 1726:2012,halaman 24)

### 3.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai

Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan kategori desain seismic. Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa ditentukan berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012 halaman 34-37.

### 3.3.8. Faktor Keutamaan $I_e$

Faktor keutamaan diperoleh dari tabel berikut :

Tabel 3.8. Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa , $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(dikutip dari Tabel 2 SNI 1726 2012, halaman 15)

### 3.3.9. Periode Fundamental ( T )

Periode fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung  $C_t$  dari Tabel 3.9.

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-29)$$

Tabel 3.9. Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe struktur	$C_t$	$x$
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

(dikutip dari Tabel 15 SNI 1726 2012, halaman 56)

Tabel 3.10. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\leq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(dikutip dari Tabel 14 SNI 1726 2012,halaman 56)

### 3.3.10. Faktor Respons Gempa

Faktor respon gempa dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-30)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

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

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

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

Nilai  $C_s$  yg dihitung sesuai dengan persamaan (3-30) tidak perlu melebihi dari persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-31)$$

Dengan syarat  $C_s$  :

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \quad (3-32)$$

$$C_s \text{ min} = 0,01$$

Sebagai tambahan, 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 :

$$C_s \text{ min} = \frac{0,5 \cdot S_{DS}}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (\text{hanya untuk } S_1 \geq 0,6 \text{ g}) \quad (3-33)$$

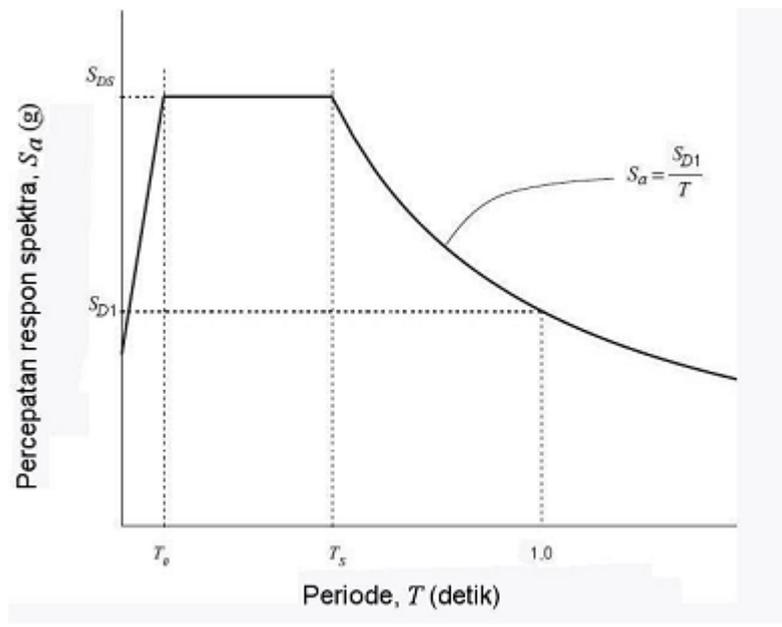
Keterangan :

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

$T$  = Periode fundamental struktur (detik)

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

Digunakan  $C_s$  terkecil



Gambar 3.1. Spektrum Respons Desain  
(sumber SNI 1726:2012 pasal 6.4)

### 3.3.11. Gaya Geser Gempa

Gaya geser gempa diperoleh dengan rumus :

$$V = C_s \cdot W \quad (3-34)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

### 3.3.12. Distribusi beban lateral pada setiap lantai

Diperoleh dengan rumus :

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-35)$$

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{W_x h_x^k}{W_i h_i^k} \quad (3-36)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-37)$$

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

### **3.4. Perancangan Elemen Struktur**

Struktur yang akan dirancang adalah struktur atas yang meliputi beberapa bagian seperti Pelat, Balok, Kolom, Tangga dan Fondasi. Perencanaan struktur berdasarkan pada SNI 2847-2013.

#### **3.4.1. Perancangan Pelat**

##### 1. Penentuan jenis pelat

Ada dua jenis pelat yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah

##### a. Pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya timbul dalam satu arah.

##### b. Pelat dua arah

Pelat dua arah adalah pelat yang di dukung pada empat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dua arah.

Bila  $\frac{l_y}{l_x} < 2$  menggunakan tabel ;

Bila  $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$  maka dapat dihitung dengan dianggap sebagai pelat dua arah tau dianggap sebagai struktur pelat satu arah dengan lentur utama pada arah sisi yang terpendek.

## 2. Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Tebal pelat satu arah (pelat yang didukung pada kedua tepi berhadapan) ditentukan dalam SNI 2874:2013, pada pasal 9.5.2. seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.11. Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, $h$				
Komponen struktur	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	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

(dikutip dari tabel 9.5 a SNI 2847-2013, halaman 70)

Catatan :

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $w_c$ , di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1,65 - 0,0003w_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09.

(b) Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + \frac{f_y}{700})$

### 3. Tulangan susut dan suhu

Tulangan lenturnya terpasang dalam satu arah saja dan menyediakan tulangan susut dan suhu yang arah tegak lurus terhadap tulangan lentur, dengan rasio luas tulangan susut dan suhu maupun tulangan utama sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014 :

- a. Tulangan  $f_y = 300 \text{ MPa}$ ,  $A_s \text{ min} = 0,0020 bh$
- b. Tulangan  $f_y = 400 \text{ MPa}$ ,  $A_s \text{ min} = 0,0018 bh$
- c. Tulangan  $f_y > 400 \text{ MPa}$ ,  $A_s \text{ min} = 0,0028(400/f_y) bh \geq 0,0014 bh$

Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu :

- a. Tulangan utama, dipilih nilai terkecil
  - $s \leq 3h$  ( $h$  = tebal pelat)
  - $s \leq 450 \text{ mm}$
- b. Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil
  - $s \leq 3h$  ( $h$  = tebal pelat)
  - $s \leq 450 \text{ mm}$

#### 3.4.2. Perancangan Balok

Tahapan perencanaan balok dilakukan dengan :

1. Menentukan  $f'_c$  dan  $f_y$
2.  $\rho = 0,01$
3. Menghitung  $Rn = \rho f_y (1 - 0,59 \frac{\rho f_y}{f'_c})$  (3-38)

dengan :  $Rn$  = koefisien tahanan,  
 $\rho$  = rasio tulangan baja,  
 $f'_c$  = kuat tekan beton,  
 $f_y$  = tegangan luluh baja.

4. Menghitung momen kibat beban terfaktor,  $M_u$ , ditaksirkan momen akibat berat sendiri balok adalah 10%-20% momen beban total.
5. Menentukan kombinasi  $b_w$  dan  $d$  dengan persamaan :

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{0,9R_n b_w}} \quad (3-39)$$

Keterangan :

$b_w$  = lebar penampang balok

$d$  = tinggi efektif balok

6. Menentukan nilai  $h$  (tinggi balok), pembulatan keatas kelipatan 50 mm dengan memperhatikan :
  - a. Tinggi balok minimum yang disyaratkan agar lendutan tidak diperiksa
  - b. Bila  $h_{\text{aktual}} < h_{\text{min}}$  balok, lendutan perlu diperiksa sesuai dengan tabel 8 SNI 2847 2013
  - c.  $b_w \geq 0,3 h$  atau  $b_w \geq 250$  mm (Pasal 21.5.1.3 SNI 2847 2013)
7. Menghitung kembali  $M_u$  dengan memasukkan berat sendiri balok di dapat  $M_u$  baru.
8. Menentukan tulangan lentur geser

#### a. Tulangan Lentur

Untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai  $M_u = M_n$ . Sesuai SNI pasal 21.5.2.2 SNI 2847 2013, kekuatan momen positif pada muka join harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif (pada daerah desak tumpuan  $M_u = 0,5M_u$  baru). Baik kekuatan momen negatif atau positif pada setiap penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh

kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan (pada daerah tarik maupun desak lapangan  $M_u = 0,25 M_u$  baru).

$$R_{nperlu} = \sqrt{\frac{M_{ubaru}}{0,9b_w d^2}} \quad (3-40)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}}\right) \quad (3-41)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau,} \quad \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (3-42)$$

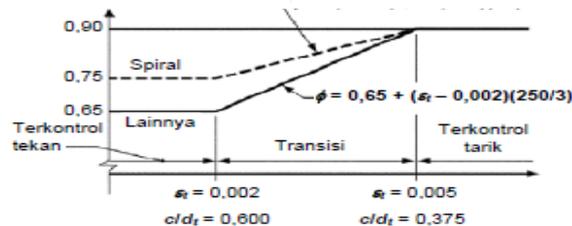
Khusus balok induk  $\rho \leq 0,025$  (Pasal 21.5.2.1 SNI 2847 2013)

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s \text{ perlu} = \rho_{perlu} b_w d \quad (3-43)$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s \text{ Perlu}}{\text{luas.tulangan}} \quad (\text{pembulatan keatas}) \quad (3-44)$$

$$\text{Menentukan } a \text{ dan } c : a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b_w} \quad \text{dan } c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-45)$$

$$\text{Menghitung } \varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d_t - c}{c} \right) \quad (3-46)$$



Gambar 3.2 Variasi  $\phi$

(dikutip dari pasal 9.3 SNI 2847 2013)

### b. Tulangan geser

Langkah awal dalam menentukan tulangan geser balok adalah mencari gaya geser gempa ( $V_e$ ). Pasal 21.5.4.1 SNI 2847 2013 menyatakan bahwa gaya geser rencana  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka muka join. Diasumsikan bahwa momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$  bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan dapat dihitung dengan :

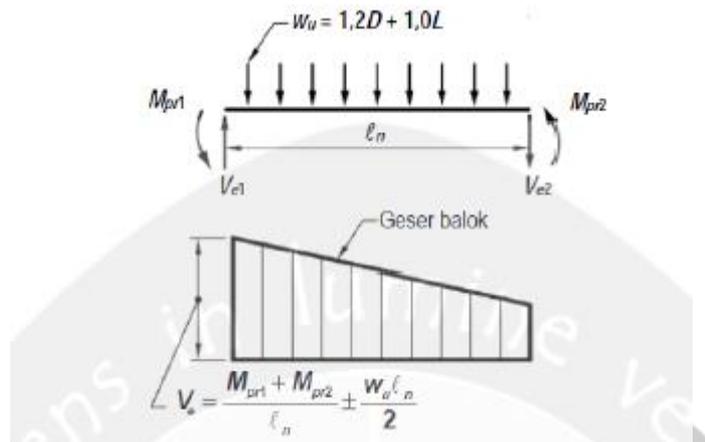
$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left( d - 0,59 \frac{A_s 1,25 f_y}{f'_c b_w} \right) \quad (3-47)$$

Gaya geser akibat gempa dihitung dengan

$$V = \frac{M_{pr1} M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (3-48)$$

Keterangan :

$M_{pr}$  = kuat lentur maksimum tulangan,  
 $A_s$  = luas tulangan baja yang digunakan.



Gambar 3.3 Gaya Geser Desain

(dikutip dari pasal 21.6.2.2 SNI 2847 2013)

Pasal 21.6.5.2 SNI 2847 2013 menyatakan bahwa pada daerah sendi plastis,  $V_c = 0$  bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- a. Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan 21.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$ .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 10$

Jika konstribusi geser dari beton  $V_c \neq 0$ , Pasal 11.2.1.1 SNI 2847 2013 menetapkan kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur sebagai berikut :

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3-49)$$

Dengan  $\lambda = 1$  untuk beton normal.

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-50)$$

Dengan nilai 
$$V_s maks = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c b_w d} \quad (3-51)$$

Spasi tulangan geser sesuai pasal 11.4.7.2 SNI 2847 2013 dihitung dengan persamaan :

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (3-52)$$

Menurut pasal 21.5.3.2 SNI 2847: 2013, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan  $\leq 50$  mm dari muka komponen struktur. Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

a.  $\frac{d}{4}$  (3-53)

b. 6 kali diameter batang tulangan lentur utama (3-54)

c. 150 mm (3-55)

Menurut pasal 11.4.5.1 SNI 2847 2013 pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  di sepanjang bentang komponen struktur.

### 3.4.3 Perancangan Kolom

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban yang bekerja meliputi beban mati dan hidup balok, pelat, serta berat dari lantai di atas kolom tersebut. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang berdasarkan pasal 10.3.6.2 SNI 2847 2013 :

$$\phi_{Pn maks} = 0,8 \phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-56)$$

Dengan nilai  $\phi = 0,65$

### Kelangsingan kolom

Berdasarkan pasal 10.10.1 SNI 2847 2013 untuk komponen struktur tekan yang bergoyang, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-57)$$

Keterangan :

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

$r$  = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

$l_u$  = panjang bersih komponen struktur tekan

### Kuat Lentur

Kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Momen minimal dirancang minimum 20% lebih besar dibanding momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Pasal 21.6.2.2 SNI 2847 2013, terdapat persamaan :

$$\sum M_e \geq \sum M_g \quad (3-58)$$

Dengan :

$\sum M_e$  = 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.

$\sum M_g$  = 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 yang didefinisikan dalam 8.12 harus diasumsikan menyumbang kepada  $\sum_{nb}$  jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

### Gaya Geser Rencana

Berdasarkan SNI 21.5.4.1 SNI 2847 2013 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 :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-59)$$

Dimana  $V_c$  adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton yang dihitung, dan

$V_s$  = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser yang dihitung.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-60)$$

Dimana  $V_c$  = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton yang dihitung sesuai dengan, dan  $V_s$  = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser yang dihitung.

Sesuai pasal 11.2.1.2 SNI 2847 2013 perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persyaratan berikut :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-61)$$

#### Keterangan

$v_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

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

Sesuai pasal 11.2.1.2 SNI 2847 2013, kuat geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (3-62)$$

dan

$$V_s = \left( \frac{A_v f_y d}{s} \right) \quad (3-63)$$

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

### **Tulangan Transversal Kolom**

Ujung ujung kolom perlu cukup pengekangan untuk menjamin daktilitas apabila terjadi pembentukan sendi plastis. Perlu juga tulangan transversal untuk mencegah pertama kegagalan geser sebelum penampang mencapai kapasitas lentur dan kedua tulangan menekuk.

Sesuai pasal 21.6.4.4 SNI 2847 2013, luas penampang total tulangan sengkang persegi ditentukan :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_b a f'_c}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-64)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_b a f'_c}{f_{yt}} \quad (3-65)$$

Keterangan :

$A_{sh}$  = luas total penampang sengkang tertutup persegi

$A_g$  = luas bruto penampang

$A_{ch}$  = luas penampang dari sisi luar kesisi tulangan transversal

$h_c$  = dimensi penampang kiri kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekang

$s$  = spasi tulangan

$f_{yh}$  = tegangan leleh baja tulangan transversal

$f'_c$  = kuat tekan beton

Sesuai Pasal 21.6.4.3 SNI 2847 2013, Spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan

- c. 
$$S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

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

#### 3.4.4. Hubungan Kolom Balok

Faktor penting dalam menentukan kuat geser nominal hubungan balok-kolom adalah luas efektif dari hubungan balok-kolom. Sesuai pasal 21.7.4.1.SNI 2847:2013, untuk hubungan balok-kolom yang dikekang oleh balok di keempat sisinya, kuat geser nominalnya adalah  $1,7A_s\sqrt{f'_c}$  dan balok kolom yang ada di dua sisi berlawanan, kuat geser nominalnya adalah  $1,25A_s\sqrt{f'_c}$   $A_s$

### 3.4.5. Perancangan Tangga

Perancangan tangga dilakukan dengan melakukan perhitungan dalam menentukan tinggi optrede, antrede, lebar borders dan sudut miring tangga. Menghitung rencana penggunaan tulangan tangga sesuai pembebanan yg terjadi.

### 3.4.6. Perancangan Pondasi *Bored Pile*

Daya dukung pondasi bore pile mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan kapasitas tahanan ujung (*end bearing capacity*) dan tahanan selimut tiang (*shaft bearing capacity*)

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3-66)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot p \quad (3-67)$$

Daya dukung tiang dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_p = qp \cdot Ab \quad (3-68)$$

Dimana :

$Q_u$  = daya dukung ultimit tiang

$Q_p$  = daya dukung ultimit ujung tiang

$Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang

$p$  = keliling panjang tiang

$L$  = panjang tiang

$f$  = gesekan selimut tiang persatuan luas.

$Ab$  = luas alas tiang (m<sup>2</sup>)

*Bored 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 tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan rumus :

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{V}{p.tiang} \quad (3-69)$$

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

$$S \geq 2,5 D \quad (3-70)$$

$$S \leq 3,0 D \quad (3-71)$$

1. jarak antar tiang

$$S \longrightarrow 2,5D \leq S < 3,0 D \quad (3-72)$$

2. Jarak tiang ke tepi

$$1,25D \leq S \leq 1,5 D \quad (3-73)$$

Dengan :  $S$  = jarak antar tiang.

$D$  = diameter tiang.

### Perencanaan poer

1. Kontrol terhadap geser satu arah :

$$V_u = \phi V_n \quad (3-74)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-75)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (3-76)$$

$$V_u = Q_u B G \quad (3-77)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \quad (3-78)$$

$$G = \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - \frac{1}{2} h_{kolom} - d \quad (3-79)$$

Keterangan :

$V_u$  = gaya geser total terfaktor

$P_u$  = daya dukung tiang

$b_o$  = penampang kritis

$A$  = Luas poer

$d$  = tinggi efektif

$B$  = Lebar Poer

2. Kontrol terhadap geser dua arah atau *geser pons*:

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-80)$$

$$V_u = \phi V_n \quad (3-81)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_o d \quad (3-82)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_o d \quad (3-83)$$

$$V_c = \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{12} b_o d \quad (3-84)$$

$$V_u = Q_u (A - B^2) \quad (3-85)$$

$$B = d + \text{lebar kolom} \quad (3-86)$$

Dimana :  $\beta$  = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

3. Kontrol perpindahan kolom pada pondasi :

$$\phi P_k > \text{gaya aksial rencana} \quad (3-87)$$

$$\phi P_k = 0,7 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot A_{kolom} \quad (3-88)$$

Dengan :  $A_{kolom}$  = Luas penampang kolom

#### 4. Kontrol beban tiang :

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

$$P = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y}{\sum y^2} \quad (3-89)$$

Keterangan :

$P$  = 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 kolom tiang

$y$  = ordinat tiang pancang terhadap titik berat kolom tiang

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

$\sum y^2$  = jumlah kuadrat ordinat tiang pancang.