

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Analisis Pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor sesuai Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 yaitu :

1. Kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$  paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,4 D \dots \dots \dots (3.1)$$

2. Kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$ , beban hidup  $L$ , dan juga beban atap  $A$  atau beban hujan  $R$ , paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,4 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots \dots \dots (3.2)$$

3. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa  $E$  diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu  $U$  harus diambil sebagai :

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E_x \pm 0,3 E_y \dots \dots \dots (3.3)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 0,3 E_x \pm 1,0 E_y \dots \dots \dots (3.4)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E_x \pm 0,3 E_y \dots \dots \dots (3.5)$$

$$U = 0,9 D \pm 0,3 E_x \pm 1,0 E_y \dots \dots \dots (3.6)$$

dengan :

$D$  = beban mati  
 $L$  = beban hidup  
 $E$  = beban gempa  
 $R$  = beban hujan  
 $A$  = beban atap

Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal. Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 11.3.(2), memberikan faktor reduksi kekuatan  $\phi$  sebagai berikut :

1. Lentur , tanpa beban aksial ..... 0,8
2. Beban aksial , dan beban aksial dengan lentur
  - a. Aksial tarik, dan aksial tarik dengan lentur .....  
0,8
  - b. Aksial tekan, dan aksial tekan lentur :
    - komponen struktur dengan tulangan spiral ..... 0,70
    - komponen struktur lainnya .....0,65
3. Geser dan Torsi ..... 0,75
4. Tumpuan pada beton kecuali untuk daerah pengangkuran pasca tarik.....0,65
5. Daerah pengangkuran pasca tarik.....0,85

### **3.2. Analisa Beban Gempa**

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan pada SNI 03-1726-2002 pasal 4.2.(1), pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respons dinamik 3 dimensi. Ada beberapa hal-hal penting untuk perencanaan struktur gedung yang tidak beraturan adalah sebagai berikut :

1. Batasan nilai waktu getar fundamental gedung  $T_1$  struktur gedung

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 5.6, pembatasan waktu getar alami fundamental digunakan untuk mencegah struktur gedung yang terlalu fleksibel.

$$T_1 < \zeta \cdot n \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

$\zeta$  = koefisien untuk struktur wilayah gempa tempat struktur berada

$n$  = jumlah tingkatnya

Tabel 3.1 Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.2
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

(Sumber : SNI 03-1726-2002)

## 2. Analisis *respons dinamik*

SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3 mengatur nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon dari ragam pertama.

$$V \geq 0,8 \cdot V_1 \dots\dots\dots(3.8)$$

Untuk menentukan gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam pertama terhadap pengaruh gempa rencana ( $V_1$ ), dapat dinyatakan dalam :

$$V_1 = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t \dots\dots\dots(3.9)$$

dengan :

$C_I$  = faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana dari gambar 2 untuk waktu getar alami pertama

$I$  = faktor ketutamaan gedung

$R$  = faktor reduksi gempa representatif dari gedung yang bersangkutan

$W_I$  = berat total gedung

### 3. Analisis ragam spektrum respons

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 7.2.(1), analisis ragam spektrum respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana, dapat dilakukan dengan menggunakan analisis ragam spektrum respons gempa rencana menurut gambar 2 yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi  $I/R$ .

### 4. Kinerja batas layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan dari simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana yang bertujuan untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Peryaratan kinerja batas layan tidak boleh melampaui  $0,003/R$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, digunakan nilai yang terkecil (SNI 03-1726-2002 pasal 8.1).

### 5. Kinerja batas ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur di ambang keruntuhan. Kinerja batas ultimit berguna untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa. Simpangan dan simpangan antar tingkat

dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, untuk struktur gedung tidak beraturan dikalikan dengan factor pengali  $\xi$

$$\xi = \frac{0.7R}{faktorskala} \dots\dots\dots(3.10)$$

dimana :

R = adalah factor reduksi gempa struktur gedung

Persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat bersangkutan (SNI 03-1726-2002 pasal 8.2).

### **3.3. Perencanaan Pelat**

Plat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Plat bisa bertulang 2 atau 1 arah saja, tergantung sistem strukturnya. Bila perbandingan antara panjang dan lebar plat tidak melebihi 2, digunakan plat 2 arah. Tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 11.5. (3(3)), yaitu:

1. Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :
  - a. Pelat tanpa penebalan : 120 mm
  - b. Pelat dengan penebalan : 100 mm
2. Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2,0 pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \left( 0.8 \times \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5. \beta. (\alpha_m - 0.2)} \dots\dots\dots (3.11)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm,

3. Untuk  $\alpha_m$  yang lebih besar dari 2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \left( 0.8 \times \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9. \beta} \dots\dots\dots (3.12)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

keterangan :

- $\alpha_m$  = nilai rata-rata  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel  
 $A$  = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur suatu pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan pada sisi dari balok.  
 $\lambda_n$  = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok  
 $\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

Perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat menggunakan bantuan tabel 13.3.2 PBI 1983 dan menganggap pelat terjepit elastis pada keempat sisinya.

Perhitungan plat :

- a. Estimasi dimensi plat lantai :

Menentukan plat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana  $\beta \leq 2 \approx$  plat 2 arah  
 $\beta \geq 2 \approx$  plat 1 arah

Menghitung  $\alpha$  rata-rata :

$$\alpha_m = \sum \frac{\alpha_i}{n} \dots\dots\dots(3.14)$$

Menghitung H min dengan menggunakan syarat pada (3.12) dan (3.14)

b. Perencanaan penulangan plat lantai :

$$W_u \text{ plat lantai} = (1,2 \cdot qD) + (1,6 \cdot qL) \dots(3.15)$$

$M_u$  = momen lapangan arah sumbu x maupun y yang berdasarkan tabel faktor pengali (FP)

Tabel 3.2 Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban terbagi merata

Faktor	$\beta = l_x/l_y$																
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
$M_{lx}$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
$M_{tx}$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
$M_{ly}$	36	37	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	13
$M_{ty}$	36	37	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	38

Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia, Tahun 1971

$$M_{lx} = 0.001 \text{ qu } L_x^2 \text{ FP}_{Lx}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots (3.16)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\rho < \rho_{maks} \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \dots\dots(3.19)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (3.20)$$

$$A_s L_x \geq A_s \text{ min} \dots\dots\dots (3.21)$$

$$A_s L_x = \rho \cdot b \cdot d \cdot x \dots\dots\dots (3.22)$$

$$A_s \text{ min} = 0.002 b h \dots\dots\dots (3.23)$$

$$s = \frac{b \cdot A_s}{A_s L_x} \dots\dots\dots (3.24)$$

dengan :

$A_s$  = luas tulangan

$\rho$  = rasio tulangan

$s$  = spasi/jarak antar tulangan geser

$M_{lx}$  = momen lapangan pada arah sumbu x

### **3.4. Perencanaan Tangga**

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

#### **3.4.1 Perencanaan lentur**

Perencanaan tulangan lentur dihitung dengan menggunakan balok bertulangan tunggal, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang adalah :

$$C_c = T_s \dots\dots\dots (3.25a)$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \dots\dots\dots (3.25b)$$

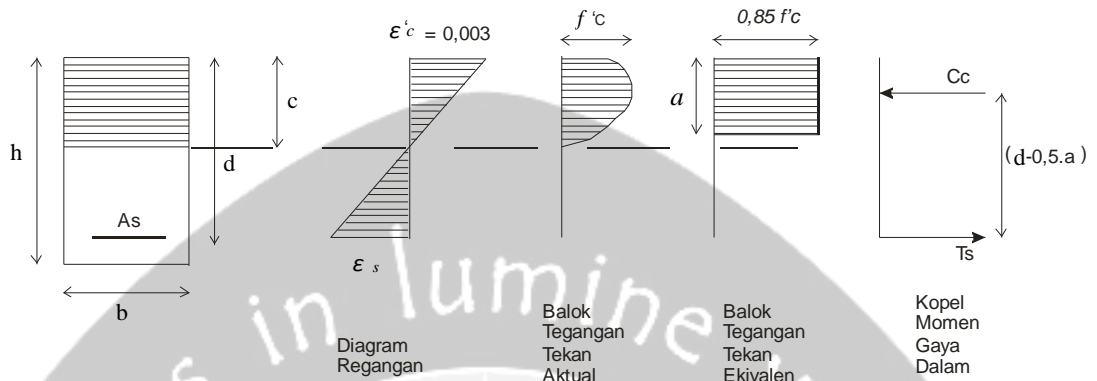
$$A = \rho \cdot \left( \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \right) \cdot d \dots\dots\dots (3.25c)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$M_n = C_c \cdot (d - 0,5 \cdot a) \dots\dots\dots (3.26)$$

$$= T_s \cdot (d - 0,5 \cdot a) \dots\dots\dots (3.27)$$





Gambar 3.1 Gaya-Gaya Dalam Penampang Balok dengan Tulangan Tunggal

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.25 ke persamaan 3.26 atau 3.27 akan diperoleh :

$$\frac{Mn}{b.d^2} = \rho.fy \cdot \left( 1 - 0,5 \cdot \rho \cdot \left( \frac{fy}{0,85.f'c} \right) \right) \dots\dots(3.28)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{Mu}{0,8.b.d^2} \dots\dots\dots(3.30)$$

Dari persamaan 3.28 dan 3.30 dihasilkan persamaan :

$$\rho = \frac{0,85.f'c}{fy} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.Rn}{0,85.f'c}} \right) \dots\dots\dots(3.31)$$

Dengan diketahui nilai  $\rho$  maka bisa dicari kebutuhan tulangan lentur yang diperlukan berdasar nilai momen yang terjadi. Batasan tulangan tarik minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.5.4 diambil nilai sebesar tulangan susut. Sedangkan nilai  $\rho$  maksimum untuk tulangan tarik tunggal sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3 sebesar :

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left( \frac{0,85.f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots(3.32)$$

### 3.4.2 Perencanaan tulangan susut

Tulangan susut dipasang tegak lurus terhadap tulangan lentur, berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 9.12.2 tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar :

1.  $\rho_{susut} > 0,0014$
2. untuk  $f_y = 300$  MPa,  $\rho_{susut} = 0,0020$
3. untuk  $f_y = 400$  MPa,  $\rho_{susut} = 0,0018$
4. untuk  $f_y > 400$  MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 %,

$$\rho_{susut} = 0,0018 \times 400/f_y$$

Untuk nilai  $f_y = 240$  MPa,  $\rho_{susut}$  didapat dari ekstrapolasi 0,0020 dan 0,0018, yaitu sebesar :

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

### 3.5. Perencanaan Atap Baja

Dalam merencanakan atap baja, kuda - kuda baja diletakkan di atas kolom dan dimodelkan sebagai rangka baja, dan di analisis menggunakan *space truss analysis*. Gording diletakkan pada joint dari kuda - kuda sehingga batang kuda - kuda hanya diperhitungkan untuk memikul gaya aksial. Sagrod berfungsi untuk mengurangi defleksi gording ke arah samping.

#### 3.5.1. Perencanaan gording

Gording direncanakan dengan menggunakan profil kanal, sebelum melakukan perencanaan, profil perlu diperiksa penampangnya dengan :

$$\lambda = \frac{b}{t} \dots\dots\dots(3.33)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \dots\dots\dots(3.35)$$

dengan :

b = lebar flens,  
t = tebal flens,

Bila :  $\lambda \leq \lambda_p$  , maka penampang kompak

$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$  , maka penampang tak kompak

$\lambda > \lambda_r$  , maka penampang langsing

### 3.5.2. Perencanaan kuda - kuda

Kuda - kuda direncanakan dengan menggunakan dobel profil siku, analisis kuda - kuda baja menggunakan program ETABS versi 9. yang kemudian dilakukan pemeriksaan gaya batang yang terbesar, pemeriksaan gaya batang dilakukan terhadap batang tarik dan batang tekan dan harus memenuhi persamaan

$$\phi N_n \geq N_u \dots\dots\dots(3.36)$$

dengan :

$\phi = 0,85$  untuk batang tekan

$\phi = 0,9$  untuk batang tarik (sebelum sambungan dihitung)

$\phi = 0,75$  untuk batang tarik (setelah sambungan dihitung)

#### 3.5.2.1 Batang tekan

Pemeriksaan batang tekan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$N_n = A_g \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots(3.37)$$

$\omega = 1$  , bila  $\lambda_c \leq 0,25$

$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$  , bila  $0,25 < \lambda_c < 1,2$

$\omega = 1,25 \lambda_c^2$  , bila  $\lambda_c \geq 0,25$

$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi r_{min}} \sqrt{\frac{fy}{E}}$  .....(3.38)

dengan syarat :

$\lambda = \frac{L_k}{r_{min}} \leq 200$  .....(3.39)

**3.5.2.2 Batang tarik**

Pemeriksaan batang tarik sebelum sambungan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$N_n = Ag \cdot fy$  .....(3.40)

Pemeriksaan batang tarik sebelum sambungan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$N_n = Ag \cdot u \cdot fu$  .....(3.41)

dengan :

- Ag = luas penampang profil
- fy = kuat leleh tulangan baja
- $\omega$  = faktor tekuk
- E = modulus elastis baja
- u = jarak titik berat profil
- fu = tegangan tarik putus

**3.5.3. Sambungan Las**

Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 13.5 ayat 3 butir 10 mensyaratkan bahwa kekuatan dasar  $\emptyset.R_n$  adalah sama atau melebihi jumlah beban-beban terfaktor, secara khusus untuk las :

$\emptyset.R_{nw} > R_u$ .....(3.42)

dengan :

- $\emptyset$  = faktor resistansi  
 $R_{nw}$  = kuat nominal sambungan las  
 $R_u$  = kuat perlu

Kekuatan dari berbagai las didasarkan atas luas efektifnya. Luas efektifnya pada jenis *fillet* merupakan hasil kali dari leher efektif ( $t_e$ ) dengan panjang las. Kekuatan desain per satuan panjang las *fillet* didasarkan nilai terkecil dari resistansi geser melalui leher las sebagai berikut :

$$\emptyset \cdot R_{nw} = 0,75 t_e \cdot 0,6 f_{uw} \dots \dots \dots (3.43)$$

$$\emptyset \cdot R_{nw} = 0,75 t_e \cdot 0,6 f_u \dots \dots \dots (3.44)$$

dengan :

- $t_e$  = dimensi leher efektif (besarnya 0,707 kali ukuran nominal leher efektif)  
 $f_{uw}$  = tegangan ultimit las  
 $t$  = tebal terkecil antara pelat buhul dan profil siku  
 $f_u$  = tegangan ultimit bahan /pelat

Peraturan SNI 03-1729-2002 pasal 13.5 ayat 3 butir 2 menetapkan ukuran minimum las *fillet* sesuai tabel 3.3.

Tabel 3.3. Ukuran Minimum Las *Fillet*

Tebal Bagian Paling Tebal, t (mm)	Tebal minimum las <i>fillet</i> , tu (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber : SNI 03-1729-2002

Panjang las yang diperlukan untuk menahan gaya terfaktor (L) adalah :

$$L = \frac{T_u}{\emptyset \cdot R_{nw}} \dots \dots \dots (3.45)$$

### 3.6. Perencanaan Balok

SNI 03-2847-2002 memberikan kriteria tebal balok dan pelat satu arah dikaitkan dengan panjang bentangnya dalam rangka membatasi lendutan besar dan dapat dipakai untuk komponen yang tidak mendukung struktur lain yang cenderung akan rusak akibat lendutan. Perkiraan tebal minimum balok dan pelat satu arah dapat ditentukan sesuai tabel 3.4.

Tabel 3.4. Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah Non Prategang

Komponen Struktur	Tebal Minimum, h			
	Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Pelat Solid Satu Arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau Pelat Jalur Satu Arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8

Sumber : SNI 03-2847-2002

dengan catatan :

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

Apabila balok beton dicor monolit dengan pelat lantai, maka lendutan pada balok akan mengakibatkan bagian lantai yang bersebelahan ikut melendut. Tegangan tekan timbul baik pada bagian badan balok persegi maupun pada bagian sambungan lantai (Vis,W,C dan Kusuma,G, 1993). Kesatuan monolit antara balok dan pelat lantai tersebut disebut balok T dengan bagian pelat lantai yang ikut melendut disebut *flens*.

Dalam perhitungan perancangan struktur perlu diketahui bagian lebar lantai yang menerima distribusi gaya-gaya dalam balok, dengan kata lain perlu diketahui

lebar efektif *flens*. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 10.10 lebar efektif sayap tidak boleh lebih besar dan diambil nilai terkecil dari nilai berikut :

1. Untuk balok T

$$be \leq 16 hf + bw \dots\dots\dots(3.46)$$

$$be \leq bw + \frac{1}{2} \cdot \text{jarak bersih balok bersebelahan} \dots\dots\dots(3.47)$$

$$be \leq \frac{1}{4} \text{ bentang bersih balok} \dots\dots\dots(3.48)$$

2. Untuk balok yang hanya mempunyai pelat pada satu sisi, lebar efektif sayap dari sisi badan tidak boleh lebih dari:

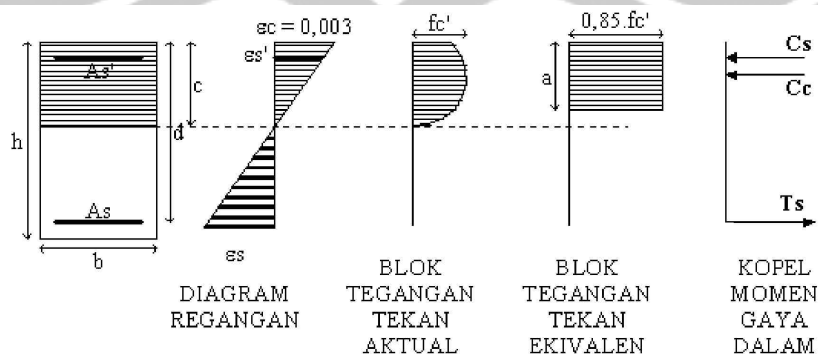
$$be \leq bw + \frac{1}{12} \text{ bentang bersih balok} \dots\dots(3.49)$$

$$be \leq bw + 6 \cdot hf \dots\dots\dots(3.50)$$

$$be \leq bw + \frac{1}{2} \cdot \text{jarak bersih balok bersebelahan} \dots\dots(3.51)$$

dengan : *bf* = lebar efektif *flens*,  
*hf* = tebal pelat lantai,  
*bw* = lebar balok.

**3.6.1. Tulangan Lentur**



Gambar 3.2. Distribusi Tegangan Regangan Balok  
 (Sumber: Dipohusodo, 1996)

Gaya-gaya yang bekerja pada penampang balok dengan tulangan rangkap :

Gaya desak beton :

$$C_c = 0,85.f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(3.52)$$

Gaya desak baja tulangan :

$$C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots(3.53)$$

Gaya tarik baja tulangan :

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.54)$$

Keseimbangan gaya-gaya horizontal penampang memenuhi :

$$C = T \dots\dots\dots(3.55)$$

$$C_c + C_s = T_s \dots\dots\dots(3.56)$$

$$0,85.f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.57)$$

menghasilkan persamaan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85.f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.58)$$

letak garis netral :

$$c = a / \beta_1 \dots\dots\dots(3.59)$$

diasumsikan tulangan baja desak leleh, harus memenuhi

$$\varepsilon'_s = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots(3.60)$$

$$a \geq \frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s - f_y} \cdot \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots(3.61)$$

untuk menunjukkan tulangan desak belum leleh jika :

$$\rho - \rho' \leq \frac{0,85.f'_c \cdot \beta_1 \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s - f_y} \dots\dots\dots(3.62)$$

jika tulangan desak belum leleh, maka :

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot E_s \dots\dots\dots(3.63)$$



dari kesetimbangan momen diperoleh :

$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' ( d - d' ) \dots\dots(3.64)$$

$$= C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s ( d - d' ) \dots\dots\dots(3.65)$$

**3.6.2. Tulangan Geser**

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi :

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(3.66)$$

dimana :

$V_n$  adalah kuat geser nominal, yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3.67)$$

dengan  $V_c$  adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

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

$$V_c = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d \dots\dots\dots( 3.68 )$$

sedangkan  $V_s$  adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(2)), menyatakan kuat geser tulangan untuk perencanaan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots(3.69)$$

Tulangan geser harus memenuhi pasal 13.5(4(3)) dan pasal 13.5(6(9)) :

1.  $V_s < (\sqrt{f_c'} / 3) b_w d \dots\dots\dots(3.70)$

2.  $V_s < (2/3) \sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots(3.71)$

dengan :

$A_v$  = luas tulangan geser

$s$  = jarak antar tulangan geser

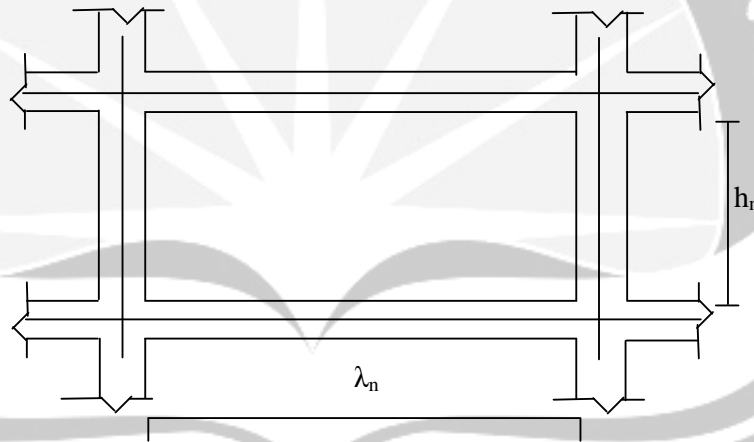
$V_s$  = kuat geser tulangan

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

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\lambda_n} + \frac{W_u \lambda_n}{2} \dots \dots \dots (3.72)$$

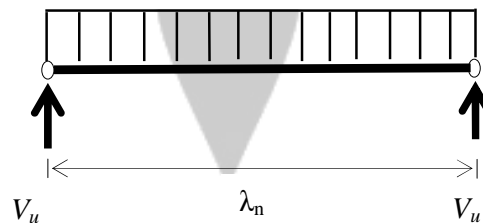
$W_u$  = beban gravitasi terfaktor yang bekerja pada balok

=  $1,2D + 1,0 L$  pada penampang yang ditinjau.

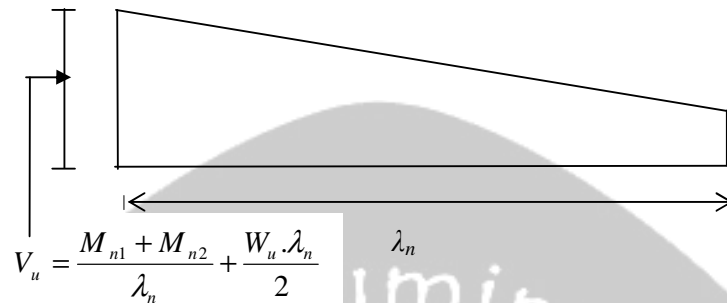


Gambar 3.3 Potongan Portal Balok Kolom

$$W_u = 1,2D + 1,0 L$$



Gambar 3.4 Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi Terfaktor



Gambar 3.5 Gaya Lintang Rencana Balok untuk SRPMM

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

- $d/4$
- Delapan kali diameter tulangan longitudinal tulangan terkecil
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

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

### 3.6.3. Tulangan Torsi

SNI 03-2847-2002 pasal 13.6(1a) menyatakan pengaruh puntir dapat diabaikan bila :

$$T_u < \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots \dots \dots (3.73)$$

dengan :

$T_u$  = momen puntir akibat beban terfaktor

$\phi$  = faktor reduksi torsi

$P_{cp}$  = keliling luar penampang beton

$A_{cp}$  = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6(3), dimensi penampang harus mampu menahan kuat lentur puntir :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right) \dots (3.74)$$

dengan :

$P_h$  = keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar

$A_{oh}$  = luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar

### **3.7. Perencanaan Kolom**

#### **3.7.1. Kelangsingan kolom**

Suatu kolom dikatakan ramping atau langsing apabila dimensi–dimensi penampangnya kecil bila dibandingkan dengan panjangnya. Apabila angka kelangsingan kolom melebihi batas untuk kolom pendek, maka kolom tersebut akan mengalami tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material. Elemen vertikal (beton bertulang) dirancang untuk menopang beban aksial yang bekerja di atasnya, sehingga kekuatan strukturnya sangat didominasi oleh perkuatan beton, karena pergeseran letak daerah tekan kolom yang semakin kecil seiring dengan semakin besarnya tekuk serta beban aksial yang menyebabkan momen semakin bertambah besar sehingga kekuatan tekan kolom (desak kolom) semakin kecil, dan terus berlanjut sampai melewati batas kekuatan penampang dan mengalami kehancuran kolom. Untuk menghindari hal demikian maka dalam

merencanakan suatu kolom harus diperiksa dulu terhadap pembesaran momen akibat kelangsingannya.

Cek faktor pembesaran momen terhadap kelangsingan kolom, sesuai dengan SNI 03–2847–2002 untuk komponen struktur yang tidak ditahan terhadap goyangersamping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila

$$\frac{k \cdot \lambda_u}{r} < 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \dots \dots \dots (3.75)$$

dengan :

- k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
- r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan,
- $\lambda_u$  = panjang bersih komponen struktur tekan
- $M_1, M_2$  = momen-momen ujung terfaktor pada kolom yang posisinya berlawanan

Panjang efektif “K”, untuk komponen struktur tekan sesuai dengan SNI 03–2847–2002 diambil menurut SNI 03–2847-2002 gambar 5 hal 78, dengan ketentuan  $\psi$  seperti berikut:

$$\psi = \frac{\sum \left( \frac{E_c \cdot I_c}{\lambda_c} \right)_{Kolom}}{\sum \left( \frac{E_b \cdot I_b}{\lambda_b} \right)_{Balok}} \dots \dots \dots (3.76)$$

dengan :

- $\psi$  = Rasio  $\sum (E_c I / \lambda_c)$  dari komponen struktur tekan terhadap  $\sum (E_c I / \lambda)$  dari struktur lentur pada salah satu ujung komponen struktur tekan yang dihitung dalam bidang rangka yang ditinjau,
- $\lambda$  = Panjang bentang dari komponen struktur yang diukur dari pusat ke pusat join,
- $EI_c$  = Modulus Elastis kolom,
- $I_c$  = Momen Inersia Kolom, sesudah dikurangkan dengan faktor susut kolom sebesar 30 %  $(0,7 \cdot I_g)$ ,
- $EI_b$  = Modulus Elastis balok,
- $I_b$  = Momen Inersia Kolom, sesudah dikurangkan dengan faktor susut kolom sebesar 65 %  $(0,35 \cdot I_g)$ .

### 3.7.2. Tulangan Longitudinal

Dalam perencanaan kolom pada struktur ini digunakan design kolom biaksial. Untuk penyederhanaan perhitungan momen-momen yang bekerja dengan dua arah dijumlahkan dengan penjumlahan vektor, sehingga analisisnya dapat menjadi lebih sederhana yaitu secara uniaksial.

Langkah-langkah perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

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

$$a. P_n = \frac{P_u}{\Phi} \dots\dots\dots(3.77)$$

$$b. M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\Phi} \dots\dots\dots(3.78)$$

$$c. M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\Phi} \dots\dots\dots(3.79)$$

2. Menghitung perkiraan kuat momen uniaksial yang bekerja pada struktur sesuai dengan persamaan yang diberikan oleh Macgregor.
3. Berdasarkan nilai M dan P yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, kolom dirancang secara uniaksial dengan menggunakan diagram interaksi kolom yang ada (Yoyong Arfiadi).
4. Menentukan kekuatan penampang dengan menggunakan persamaan Bresler, yaitu dengan menjumlahkan kapasitas suatu penampang kolom yang berada dibawah aksial tekan dan lentur dua arah, yaitu:

$$P_n < \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} + \frac{1}{P_o}} \dots\dots\dots(3.80)$$

dengan :

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

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

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

Cek Terhadap kapasitas design (kolom kuat balok lemah)

Dalam suatu perencanaan sangat diharapkan daerah sendi plastis yang terjadi pada sebuah struktur jatuh pada balok dari pada kolom. Hal ini dikarenakan bahwa beban-beban kerja yang diterima balok akan disalurkan pada kolom, sehingga kerugian-kerugian yang terjadi akibat kegagalan pada kolom dapat dihindari. Dalam SNI 03-2847-2002, pasal 23.4 diharuskan bahwa kuat lentur kolom memenuhi persamaan :

$$\Sigma Me \geq \frac{6}{5} \Sigma Mg \dots \dots \dots (3.81)$$

dengan :

$\Sigma Me$  : Jumlah momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut. Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

$\Sigma Mg$  : Jumlah momen-momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok kolom.

### 3.7.3. Tulangan Geser

Gaya geser rencana ( $V_e$ ) untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom harus ditentukan dari kuat momen maksimum  $M_n$  dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu di hubungan balok kolom yang bersangkutan.  $M_n$  kolom ditentukan berdasarkan beban aksial terfaktor yang diambil sama dengan momen *balance* dari diagram interaksi kolom yang bersangkutan. Gaya

geser rencana ( $V_e$ ) tidak perlu lebih besar dari gaya geser rencana yang ditentukan dari kuat hubungan balok kolom tetapi berdasarkan pada  $M_n$  balok-balok melintang dan tidak boleh diambil kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur (Purwono, 2002).

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi :

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(3.82)$$

dengan :

$V_u$  adalah kuat geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_n$  adalah kuat geser nominal, yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(3.83)$$

dengan  $V_c$  adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.3(2), kuat geser beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w . d \dots\dots\dots(3.84)$$

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(3) gambar 47 menyatakan gaya geser kolom untuk Sistem Rangka Momen Pemikul Menengah harus memenuhi :

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_u} \dots\dots\dots(3.85)$$

dengan :

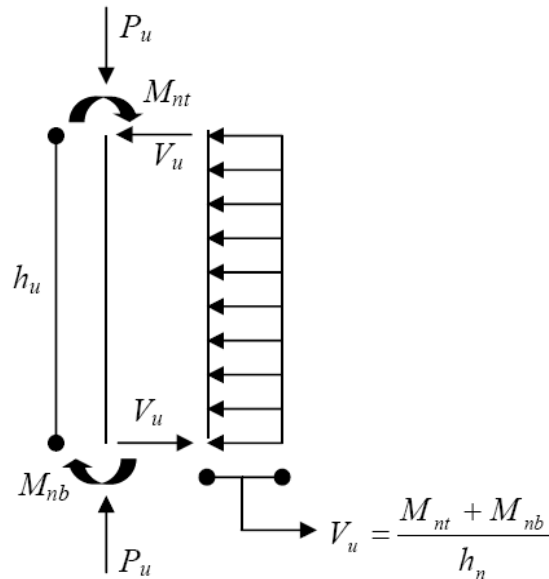
$V_e$  = gaya geser

$M_{nt}$  = kuat lentur momen atas

$M_{nb}$  = kuat lentur momen bawah

$h_u$  = tinggi kolom





Gambar 3.6. Gaya Lintang rencana kolom untuk SRPMM

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5), panjang  $\lambda_o$  didaerah kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah ( SRPMM ) tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- Seperenam tinggi bersih kolom,
- Dimensi terbesar penampang kolom,
- 500 mm.

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5(1)) menyatakan spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $\lambda_o$  pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dari muka hubungan balok kolom adalah  $s_o$ . Spasi  $s_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

- Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- 24 kali diameter sengkang ikat,
- Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan
- 300 mm.

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5(2)) menyatakan bahwa sengkang ikat pertama dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 s_o$  dari muka hubungan balok kolom  $s_o$  dan dalam SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5(4)) spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak melebihi  $2S_o$ .

#### 3.7.4. Hubungan Balok-Kolom

Hubungan Balok kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) gaya-gaya tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok kolom ditentukan dengan menganggap tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $f_y$ .

SNI 03-2847-2002 pasal 23.5(3(1)) menyatakan kuat geser nominal hubungan balok kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut untuk beton berat normal :

1. Untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya

$$1,7 \sqrt{f'_c} A_j \dots \dots \dots (3.86)$$

2. Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan

$$1,25 \sqrt{f'_c} A_j \dots \dots \dots (3.87)$$

3. Untuk hubungan lainnya

$$1,0 \sqrt{f'_c} A_j \dots \dots \dots (3.88)$$

### 3.8 Perencanaan Fondasi

Perhitungan daya dukung tanah dengan memperhitungkan berdasarkan pada tahanan ujung (*end bearing*) maupun *cleef* (*Friction pile*) yang mempergunakan data hasil pengujian CPT :

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A \times p}{SF} + \frac{O \times c}{SF} \dots\dots\dots(3.89)$$

dengan :

$Q_{\text{tiang}}$  = daya dukung keseimbangan tiang  
 $p$  = nilai konus dari hasil sondir  
 $A$  = luas tiang pancang  
 $O$  = keliling tiang pancang  
 $SF$  = *safety Factor*

Untuk jarak antar tiang menggunakan persamaan :

$$2,5D \leq S < 3D \dots\dots\dots(3.90)$$

Untuk jarak tiang ke tepi menggunakan persamaan :

$$1,25D \leq S < 1,5D \dots\dots\dots(3.91)$$

dengan :

$S$  = jarak antar tiang  
 $D$  = diameter tiang bundar  
 = rusuk tiang persegi

### 3.8.1. Jumlah kebutuhan tiang

Untuk menentukan jumlah kebutuhan tiang harus dilakukan pada kondisi pembebanan tetap maupun sementara dengan menggunakan :

$$n = \frac{\sum V}{P} \dots\dots\dots(3.92)$$

dengan :

$n$  = jumlah tiang yang dibutuhkan  
 $\sum V$  = jumlah total beban normal  
 $P$  = daya dukung tanah

### 3.8.2. Kontrol beban

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

$$p = \frac{\Sigma V}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} \dots\dots\dots(3.93)$$

dengan :

- p = beban maksimum yang diterima tiang
- ΣV = jumlah total beban normal
- n = jumlah tiang dalam satu poer
- Mx = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer
- My = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer
- x = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang
- y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang
- Σx<sup>2</sup> = jumlah kuadrat absis tiang
- Σy<sup>2</sup> = jumlah kuadrat ordinat tiang

**3.8.3. Efisiensi kelompok tiang**

Perhitungan efisiensi tiang pancang menggunakan persamaan *Converse – Labarre* sebagai berikut ini.

$$eff = 1 - \frac{\theta}{90} \frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \dots\dots\dots(3.94)$$

dengan :

- eff = efisiensi tiang
- m = jumlah tiang dalam baris
- n = jumlah baris
- $\theta = \tan^{-1} \frac{D}{s}$
- d = diameter tiang
- s = jarak antar tiang (as ke as)

Daya dukung tiang menjadi :

$$P = eff \cdot Q_a \dots\dots\dots(3.95)$$

**3.8.4. Kontrol terhadap Geser 2 Arah**

Poer dapat menahan geser 2 arah bila :

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots(3.96)$$

dimana :

$$V_u = Q_u \{(b \cdot h) - (k+d)(l+d)\} \dots\dots\dots(3.97)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \cdot \frac{(\sqrt{f'c}) \cdot b_o \cdot d}{6} \dots\dots\dots(3.98)$$

tetapi nilai  $V_c$  tidak boleh melebihi

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(3.100)$$

dengan :

$b_o$  = penampang kritis pada poer

$d$  = tinggi efektif poer

$Q_u$  = gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

$b = h$  = dimensi ukuran poer

$k = l$  = dimensi ukuran kolom

### 3.8.5. Kontrol terhadap Geser 1 Arah

Poer dapat menahan geser 1 arah bila :

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots(3.101)$$

dimana :

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \dots\dots\dots(3.102)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots(3.103)$$

dengan :

$b_o$  = penampang kritis pada poer

$L$  = lebar poer

$Q_u$  = gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

### 3.8.6. Perencanaan tulangan tiang pancang

Perencanaan tulangan tiang pancang harus memenuhi persamaan :

$$\phi P_n \geq P_u \dots\dots\dots(3.104)$$

dimana :

$$P_n = 0,8 \cdot [0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \dots\dots(3.105)$$

dengan :

$A_g$  = luas penampang tiang pancang

$A_{st}$  = luas tulangan tiang pancang