# BAB II

# LANDASAN TEORI

## 2.1 Pembebanan Komponen Struktur

Pada perencanaan bangunan bertingkat tinggi, komponen struktur direncanakan cukup kuat untuk memikul semua beban kerjanya. Pengertian beban itu sendiri adalah beban-beban baik secara langsung maupun tidak langsung yang mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983

1. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian (*finishing*), mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.
2. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan atap dan lantai tersebut.
3. Beban gempa adalah semua gaya-gaya yang bekerja didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa.
4. Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekan

## 2.2 Balok

Balok adalah komponen struktur yang bertugas meneruskan beban yang disangga sendiri maupun dari plat kepada kolom penyangga. Balok menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya lenturan (Dipohusodo, 1994).

Menurut Nawy (1990), berdasarkan jenis keruntuhannya, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok (lihat Gambar 2.1).

1. Penampang *balanced.*

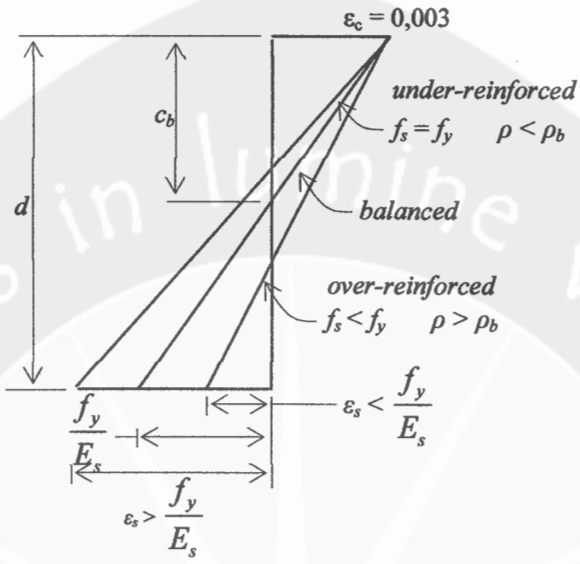
   Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada saat awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,03 sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\varepsilon_y = f_y / E_c$.

2. Penampang *over-reinforced.*

   Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja $\varepsilon_s$ yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya $\varepsilon_y$. Dengan demikian tegangan baja $f_s$ juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya $f_y$. Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*

3. Penampang *under-reinforced.* Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi

apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced.*




Gambar 2.1. Distribusi Regangan Penampang Balok
(Sumber: Nawy,1990)

## 2.3 Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya adalah menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral kecil. Apabila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur yang lain yang berhubungan dengannya atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan (Dipohusodo, 1994).

## 2.4 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah elemen horisontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke kerangka pendukung vertikal dari suatu sistem

struktur. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah atau bekerja dalam dua arah (Nawy, 1990).

## 2.5 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah bangunan yang menyediakan dukungan lateral terhadap suatu massa tanah dan memperoleh kestabilannya terutama dari berat sendiri dan juga berat tanah yang terletak langsung di atasnya. Dinding penahan tanah digunakan untuk mencegah material agar tidak longsor menurut kemiringan alamnya. Tipe dinding penahan tanah yang umum dipakai adalah tipe gravitasi, semi gravitasi, kantilever, dinding *counterfort* dan dinding krib (Ralph, Walter dan Thomas,1973).

## 2.6 Pondasi

Pondasi adalah komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah, dan *telapak* Pondasi berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Telapak pondasi harus memenuhi persyaratan untuk mampu dengan aman menebar beban yang diteruskan sedemikian rupa sehingga kapasitas atau daya dukung tanah tidak dilampaui. Dasar pondasi harus diletakkan di atas tanah kuat pada kedalaman cukup tertentu, bebas dari lumpur, humus, dan pengaruh perubahan cuaca (Dipohusodo, 1994). Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat

ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin (Hary Christady,2001).

## 2.7 Kombinasi Pembebanan

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

1. Kuat perlu

a. Kuat perlu untuk menahan beban mati :

$$U = 1{,}4\,D \qquad (2\text{-}1)$$

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

$$U = 1{,}2\,D + 1{,}6\,L + 0{,}5\,\mathrm{R} \qquad (2\text{-}2)$$

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

$$U = 1{,}2\,D + 1{,}0\,L \pm 1{,}6\,W + 0{,}5\,\mathrm{R} \qquad (2\text{-}3)$$

$$U = 0{,}9\,D \pm 1{,}6\,W \qquad (2\text{-}4)$$

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

$$U = 1{,}2\,D + 1{,}0\,L \pm 1{,}0\,E \qquad (2\text{-}5)$$

$$U = 0{,}9\,D \pm 1{,}6\,E \qquad (2\text{-}6)$$

dengan :

U = kuat perlu
D = beban mati
L = beban hidup
R = beban hujan
W = beban angin
E = beban gempa

2. Kuat Rencana

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

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

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

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

b. Faktor reduksi untuk geser pada diafragma tidak boleh melebihi faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertikal dari sistem pemikul beban lateral.

c. Geser pada hubungan balok-kolom dan pada balok perangkai yang di beritulangan diagonal ..... 0,80

4. Tumpuan pada beton kecuali untuk daerah pengangkuran pasca tarik ..... 0,65

5. Daerah pengangkuran pasca tarik..... 0,85

6. Beton polos struktural ..... 0,55

3. Pembebanan Lift.

## 2.8 Analisis Pembebanan Gempa

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

1. Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 7.1 ayat 3 beban geser nominal statik ekuivalen $V$ yang terjadi di tingkat dasar dihitung menurut persamaan:

$$V_1 = \frac{C_t \times I}{R} \times W_t \qquad (2\text{-}7)$$

dengan :

$V_1$ = beban gempa horisontal
$C_1$ = nilai faktor respons gempa
$I$ = faktor keutamaan gedung
R = faktor reduksi gempa
$W_t$ = berat total gedung

4. **Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V,maka :**

$$V \geq 0{,}8 \, . \, V_1 \qquad (2\text{-}8)$$

dengan :

$V$ = gaya geser dasar nominal
$V_1$ = beban gempa horizontal

Menurut SNI 03-1726-2002 Pasal 7.2 ayat 3 gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tingkat struktur gedung hasil analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu, harus dikalikan suatu faktor skala :

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0{,}8 \, V_1}{V_t} \geq 1 \qquad (2\text{-}9)$$

dengan :

$V_1$ = gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik yang pertama saja
$V_t$ = gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan

Syarat :

$$T_1 < \zeta . n \qquad (2\text{-}10)$$

dengan :

$T_1$ = waktu getar alami fundamental,
$\zeta$ = koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung,
$n$ = jumlah tingkatnya

Tabel 2.1. Koefisien $\zeta$ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

| Wilayah Gempa | $\zeta$ |
|---|---|
| 1 | 0,20 |
| 2 | 0,19 |
| 3 | 0,18 |
| 4 | 0,17 |
| 5 | 0,16 |
| 6 | 0,15 |

## 2.9 Perencanaan Pelat

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 syarat sebagai berikut.
   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 persamaan berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left(0{,}8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5.\beta.(\alpha_m - 0{,}2)} \qquad (2\text{-}11)$$

   dan tidak boleh kurang dari 120 mm,
3. Untuk $\alpha_m$ yang lebih besar dari 2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaaan berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left( 0{,}8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9.\beta} \qquad (2\text{-}12)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

untuk ketiga syarat di atas,

$\alpha$ = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dengan panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi baloknya.

$\alpha_m$ = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

$\beta$ = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

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

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \text{, berarti tipe pelat dua arah} \qquad (2\text{-}13)$$

$$\frac{l_y}{l_x} > 2 \text{, merupakan tipe pelat satu arah} \qquad (2\text{-}14)$$

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

$$d_x = h - (p + \varnothing_x) \qquad (2\text{-}15)$$

$$d_y = h - (p + \varnothing_x + 0{,}5.\ \varnothing_y) \qquad (2\text{-}16)$$

Rasio penulangan ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\rho = \frac{0{,}85.f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0{,}85.f'_c}} \right) \qquad (2\text{-}17)$$

Dengan:

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{M_u}{0{,}8.b.d^2} \qquad (2\text{-}18)$$

$$\rho_{maks} = 0{,}75.\left(\frac{0{,}85.f'_c}{f_y}.\beta_1.\frac{600}{600+f_y}\right) \quad (2\text{-}19)$$

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$As_{perlu} = \rho_{perlu}\,.\,b.\,d \quad (2\text{-}20)$$

$$As_{max} = \rho_{max}\,.\,b.\,d \quad (2\text{-}21)$$

$$As_{min} = \rho_g\,.\,b.\,h \quad (2\text{-}22)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$As_{min} \leq As_{perlu} \leq As_{max} \quad (2\text{-}23)$$

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

- $\rho_g$ harus lebih besar dari 0,0014
- Untuk $f_y$ = 300 MPa, $\rho_g$ = 0,0020
- Untuk $f_y$ = 400 MPa, $\rho_g$ = 0,0018
- Untuk $f_y$ > 400 MPa, $\rho_g$ = 0,0018 x 400/$f_y$

dengan:

$h$ = tebal pelat
d = tinggi efektif balok
$p$ = selimut beton
$Ø_x$ = diameter tulangan arah x
$Ø_y$ = diameter tulangan arah y
$M_n$ = momen nominal
$M_u$ = momen ultimit
$b$ = lebar pelat = 1000 mm
$\beta_1$ = 0,85 untuk $f'_c \leq 30\ MPa$
= $0{,}85 - 0{,}05\left(\frac{f'c-30}{7}\right)$ untuk $f'_c > 30\ Mpa$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65
$f_y$ = tegangan leleh baja
$f'_c$ = kuat tekan beton yang disyaratkan
ρ = rasio penulangan

## 2.10 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 2.2.

Tabel 2.2. Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah Non Prategang
(Sumber : SNI 03-2847-2002)

| | Tebal Minimum, h | | | |
|---|---|---|---|---|
| Komponen Struktur | Dua Tumpuan | Satu Ujung Menerus | Kedua Ujung Menerus | Kantilever |
| Pelat solid satu arah | $\frac{l}{20}$ | $\frac{l}{24}$ | $\frac{l}{28}$ | $\frac{l}{10}$ |
| Balok atau pelat jalur satu arah | $\frac{l}{16}$ | $\frac{l}{18,5}$ | $\frac{l}{21}$ | $\frac{l}{8}$ |

dengan catatan seperti yang tercantum di bawah ini.

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

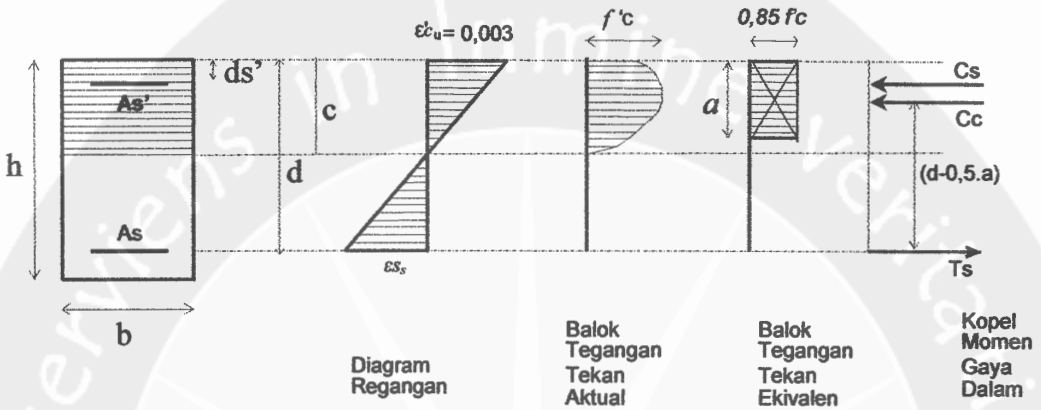
Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(1) lebar balok ($b$) harus memenuhi persyaratan yang tercantum sebagai berikut:

1. perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3,

2. lebar balok tidak kurang dari 250 mm.

### 2.10.1 Tulangan lentur

Perencanaan tulangan lentur dengan tulangan rangkap, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang sesuai Gambar 2.2 sebagai berikut.




Gambar 2.2. Distribusi Tegangan Regangan Balok

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

Gaya desak beton :

$$C_c = 0{,}85.fc'.a.b \tag{2-24}$$

$$C_s = A_s'.f_s' \tag{2-25}$$

$$T_s = A_s.f_y \tag{2-26}$$

Keseimbangan gaya-gaya horizontal penampang memenuhi :

$$C = T \tag{2-27}$$

$$C_c + C_s = T_s \tag{2-28}$$

$$0{,}85.f_c'.a.b + A_s'.f_s' = A_s.f_y \tag{2-29}$$

menghasilkan persamaan :

$$a = \frac{A_s.f_y - A_s'.f_s'}{0{,}85.f_c'.b} \tag{2-30}$$

**letak garis netral:**

$$(c) = a/\beta_1 \qquad (2\text{-}31)$$

dari persamaan 2-25 jika diasumsikan tulangan baja desak leleh, harus memenuhi:

$$\varepsilon'_s = 0{,}003.\frac{c-d'}{c} = 0{,}003.\frac{a-\beta_1.d}{a} \geq \frac{f_y}{\varepsilon_s} \qquad (2\text{-}32)$$

$$a \geq \frac{0{,}003.E_s}{0{,}003.E_s - f_y}.\beta_1.d \qquad (2\text{-}33)$$

dari persamaan 2-30 dan 2-33 untuk menunjukan tulangan desak belum leleh jika:

$$\rho - \rho' \leq \frac{0{,}85.f'_c.\beta_1.d'}{f_y.d}.\frac{0{,}003.E_s}{0{,}003.\varepsilon_s - f_y} \qquad (2\text{-}34)$$

jika tulangan desak belum leleh , maka :

$$f'_s = \varepsilon'_s.E_s = 0{,}003.\frac{a-\beta_1.d'}{a}.E_s \qquad (2\text{-}35)$$

dari kesetimbangan momen diperoleh :

$$M_n = (A_s - A_s')f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s'.f_s'(d - d') \qquad (2\text{-}36)$$

$$\mathrm{M_n} = C_c\left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s(d - d') \qquad (2\text{-}37)$$

$$Rn = \rho\left[fy \times \left(1 - \delta \times \frac{fs'}{fy}\right) \times \left(1 - 0{,}5 \times \frac{a}{d}\right) + \delta.fs' \times \left(1 - \frac{d'}{d}\right)\right] \qquad (2\text{-}38)$$

Dengan tahanan momen *Rn* didefinisikan:

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} \qquad (2\text{-}39)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \qquad (2\text{-}40)$$

Batasan tulangan minimum sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 12.5 ayat 1 adalah nilai terbesar dari:

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4fy} \times b_w \times d \qquad (2\text{-}41)$$

$$As_{\min} = \frac{1{,}4}{fy} \times b_w \times d \qquad (2\text{-}42)$$

Batasan tulangan maksimum sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 12.3 ayat 3 dan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 2.1 adalah nilai terkecil dari:

$$\rho_{maks1} = 0{,}75 \times \rho_b \qquad (2\text{-}43)$$

$$\rho_{maks2} = 0{,}025 \qquad (2\text{-}44)$$

dengan:

$C_c$ = gaya desak beton
$T_s$ = gaya tarik baja
$b$ = lebar balok
$d$ = tinggi efektif balok
$A_s$ = luas tulangan tarik
$\rho$ = ratio tulangan tarik
$f'_c$ = kuat tekan beton
$f_y$ = tegangan luluh baja
$R_n$ = koefisien tahanan
$b_w$ = lebar balok
$\rho_{maks}$ = ratio tulangan maksimum
$a$ = kedalaman balok tegangan beton tekan
$\beta_1$ = 0,85 untuk $f'_c \leq 30$ MPa

$$= 0.85 - \frac{f'c - 30}{7} x0.05 \text{ untuk } 30 \text{ MPa} < f'_c \leq 58 \text{ MPa}$$

= 0,65 untuk $f'_c > 58$ MPa

### 2.10.2 Tulangan geser

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

$$\emptyset V_n \geq V_u \qquad (2\text{-}45)$$

dimana :

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

$$V_n = V_c + V_s \tag{2-46}$$

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 :

$$V_c = \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) . b_w . d \tag{2-47}$$

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 :

$$V_s = \frac{A_V . f_y . d}{s} \tag{2-48}$$

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

$$V_s < (\sqrt{f_c'}/3) b_w d \tag{2-49}$$

$$V_s < (2/3) \sqrt{f_c'} b_w d \tag{2-50}$$

dengan :

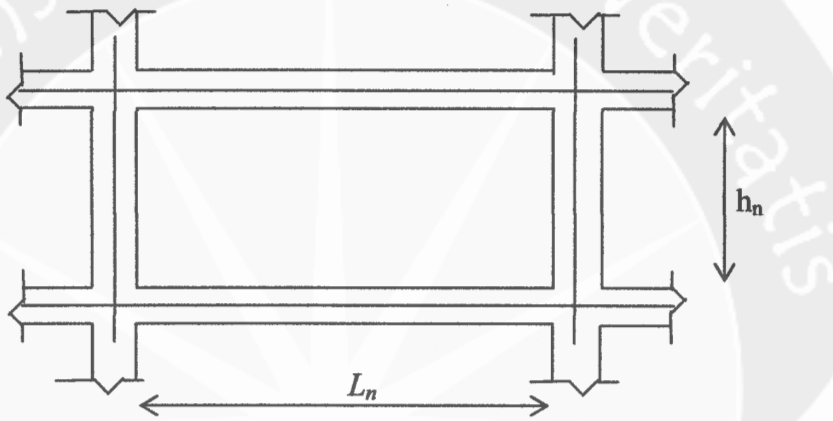
$A_V$ = luas tulangan geser
$s$ = jarak antar tulangan geser
$V_s$ = kuat geser tulangan

Apabila kebutuhan tulangan geser memenuhi persamaan 2-50, persamaan 2-49 tidak terpenuhi maka spasi maksimum yang diberikan pada SNI 03-2847-2002 pasal 13.5.(4(1)) dan 13.5.(4(2)) harus dikurangi setengahnya.

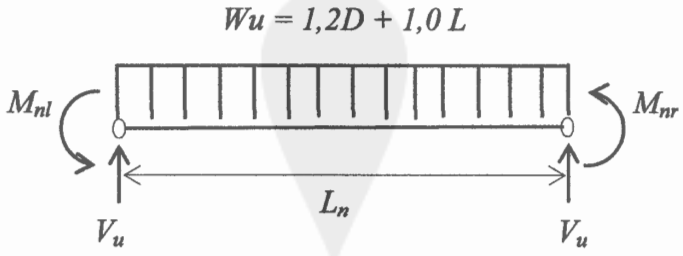
SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(3) menyatakan gaya geser rencana balok untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah sebagai berikut :

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u L_n}{2} \qquad (2\text{-}51)$$

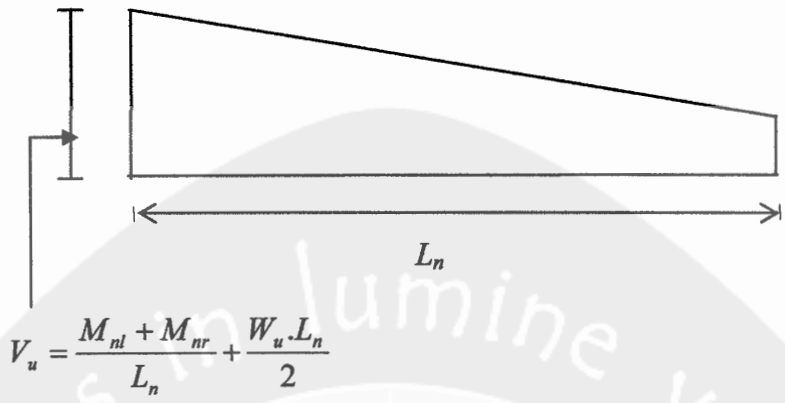
$W_u$ = beban gravitasi terfaktor yang bekerja pada balok
= 1,2D + 1,0 L pada penampang yang ditinjau.




Gambar 2.3. Potongan Portal Balok Kolom




Gambar 2.4. Gaya Geser Akibat Beban Gempa dan Beban Gravitasi Terfaktor




Gambar 2.5. 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 kearah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

a. d/4

b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal tulangan terkecil

c. 24 kali diameter sengkang

d. 300 mm

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

**2.10.3 Tulangan torsi**

Dari SNI 03–2847–2002, pasal 13.6.(1(a)), pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir $T_u$ besarnya kurang dari yang disyaratkan.

$$T_u \leq \frac{\phi.\sqrt{f'_c}}{12}\left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right) \qquad (2\text{-}52)$$

dengan :

$T_u$ = momen puntir terfaktor pada penampang
Ø = faktor reduksi kekuatan
$P_{cp}$ = keliling luar penampang beton
$A_{cp}$ = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 13.6(3(5)), tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$\phi.T_n \geq Tu \qquad (2\text{-}53)$$

dengan :
$T_u$ = momen puntir terfaktor pada penampang
$T_n$ = kuat momen puntir nominal penampa

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

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w.d}\right)^2+\left(\frac{T_u.P_h}{1{,}7.A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w.d}+\frac{2.\sqrt{f_c'}}{3}\right) \qquad (2\text{-}54)$$

dengan :

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

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 13.6(3(6)), tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut ini.

$$T_n=\frac{2\,.\,A_o\,.\,A_t\,.\,f_{yv}}{s}.Cot\,\theta \qquad (2\text{-}55)$$

Sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2002, pasal 13.6(5(2)) luas minimum tulangan sengkang dihitung dengan ketentuan sebagai berikut ini.

$$A_v + 2A_t = \frac{75.\sqrt{f'_c}}{1200}.\frac{b_w \,.s}{f_{yv}} \qquad (2\text{-}56)$$

namun harus diperhatikan bahwa syarat berikut ini harus terpenuhi.

$$A_v + 2.A_t \geq \frac{1}{3}.\frac{b_w.s}{f_{yv}} \qquad (2\text{-}57)$$

dengan :

$T_n$ = kuat momen puntir nominal penampang
$A_0$ = luas bruto yang dibatasi lintasan aliran geser
$A_t$ = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir
$f_{yw}$ = tegangan leleh baja tulangan geser
s = spasi tulangan geser
$d$ = jarak dari serat tekan ke pusat tulangan tarik
$A_v$ = luas tulangan geser
$b_w$ = lebar balok
$V_c$ = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
$f_{yv}$ = tegangan luluh baja untuk sengkang
$f'_c$ = kuat tekan beton

## 2.11 Perencanaan Kolom

### 2.11.1 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 diatasnya, sehingga kekuatan strukturnya sangat didominan 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 goyangan samping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila

$$\frac{k.\lambda_u}{r} < 34 - 12\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \qquad (2\text{-}58)$$

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 ψ seperti berikut ini.

$$\psi = \frac{\sum\left(\frac{E_c.I_c}{l_c}\right)_{Kolom}}{\sum\left(\frac{E_b.I_b}{l_b}\right)_{Balok}} \qquad (2\text{-}59)$$

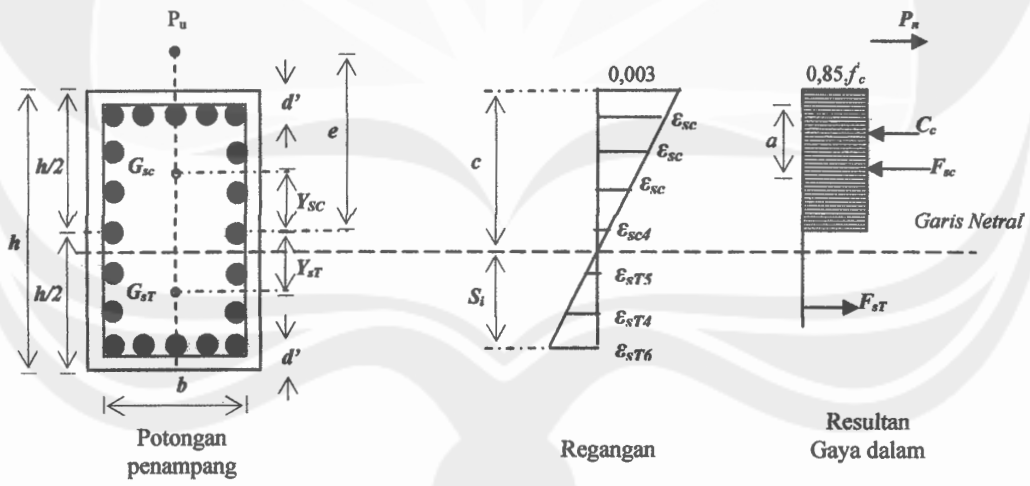
dengan :

$\psi$ = Rasio $\sum(E_cI/\lambda_c)$ dari komponen struktur tekan terhadap $\sum(E_cI/\lambda)$ 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,

$E_c.I_c$ = Modulus Elastis kolom,
$I_c$ = Momen Inersia Kolom, sesudah dikurangkan dengan faktor susut kolom sebesar 30 % ($0,7.I_g$),
$E_b.I_b$ = Modulus Elastis balok,
$I_b$ = Momen Inersia Balok, sesudah dikurangkan dengan faktor susut balok sebesar 65 % ($0,35.I_g$)

### 2.11.2 Tulangan lentur

Dalam praktek seringkali kolom juga diberi penulangan dikeempat sisinya.Untuk mendapatkan beban aksial nominalnya serta momen aksial nominalnya, maka perlu digunakan "*trial and adjustment*". Pemeriksaan kompabilitas regangan perlu dilakukan untuk setiap lapis tulangan pada seluruh tingkat beban. Untuk mengilustrasikan kolom dengan penulangan dikeepat sisinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini




Gambar 2.6. Analisis penampang kolom dengan penulangan di keempat sisinya

dengan:

Gsc = Pusat gravitasi gaya tulangan tekan
Gst = Pusat gravitasi gaya tulangan tarik
Fsc = Resultan gaya tulangan tekan = $\sum$As'. fsc
Fst = Resultan gaya tulangan tarik = $\sum$As. $f_{ST}$
$f_{ST}$ = Tegangan tulangan tarik
$f_{SC}$ = Tegangan tulangan desak

Keseimbangan gaya-gaya internal dan eksternal memberikan persamaan:

$$Pn = (0.85 . fc' . b . \beta 1 . c) + F_{SC} + F_{ST} \qquad (2\text{-}60)$$

Dan keseimbangan momen internal dan eksternal memberikan persamaan:

$$M_n = Pn . e$$

$$M_n = 0.85\ fc'\ b . \beta 1 . c\ (h/2 - \tfrac{1}{2}. \beta 1.c) + F_{SC}.Y_{SC} + F_{ST}.Y_{ST} \qquad (2\text{-}61)$$

Untuk hitungan kolom ini biasanya dilakukan "trial and adjustment" dengan mengasumsikan terlebih dahulu nilai c, kemudian nilai a dihitung. Nilai regangan pada masing-masing lapis tulangan dihitung dengan menggunakan distribusi regangan linear seperti pada gambar 3.6.

Tegangan pada masing-masing tulangan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Fsi = Es.\ \varepsilon si = Es.\ \varepsilon c\ .(Si / c) = 600.\ (Si / c) \qquad (2\text{-}62)$$

dengan :

Si = jarak yang diukur dari pusat tulangan tarik ke garis netral
c = tinggi garis netral diukur dari tepi serat desak terluar

Kemudian dihitung nilai Pn sesuai dengan nilai c yang telah diasumsikan. Nilai Pn disubstitusikan ke dalam persamaan Mn untuk mendapatkan nilai c yang belum diketahui. Dari konsep di atas maka dapat dibuat diagram interaksi P-M yang menunjukan kapasitas suatu penampang kolom beton bertulang. Diagram tersebut menunjukan hubungan antara beban aksial dan momen lentur pada kondisi–kondisi batas.

### 2.11.3 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 :

$$\emptyset V_n \geq V_u \qquad (2\text{-}63)$$

dimana :

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

$$V_n = V_c + V_s \qquad (2\text{-}64)$$

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 :

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g}\right)\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) b_w.d \qquad (2\text{-}65)$$

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

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} \qquad (2\text{-}66)$$

dengan :

$V_e$ = gaya geser
$M_{nt}$ = kuat lentur momen atas
$M_{nb}$ = kuat lentur momen bawah
$h_n$ = tinggi kolom

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

a. Seperenam tinggi bersih kolom,

b. Dimensi terbesar penampang kolom,

a. 500 mm

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

a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal kecil,

b. 24 kali diameter sengkang ikat,

c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur, dan

b. 300 mm

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10(5(2)) menyatakan bahwa sengkang ikat yang pertama harus dipasang pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan jarak tidak lebih daripada 0,5 $s_o$ dari muka hubungan balok kolom $s_o$.

### 2.11.4 Hubungan balok kolom

Hubungan Balok kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) gaya – gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok kolom ditentukan dengan menggangap 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

$$1{,}7\sqrt{f_c'}A_j \qquad (2\text{-}67)$$

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

$$1{,}25\sqrt{f_c'}A_j \qquad (2\text{-}68)$$

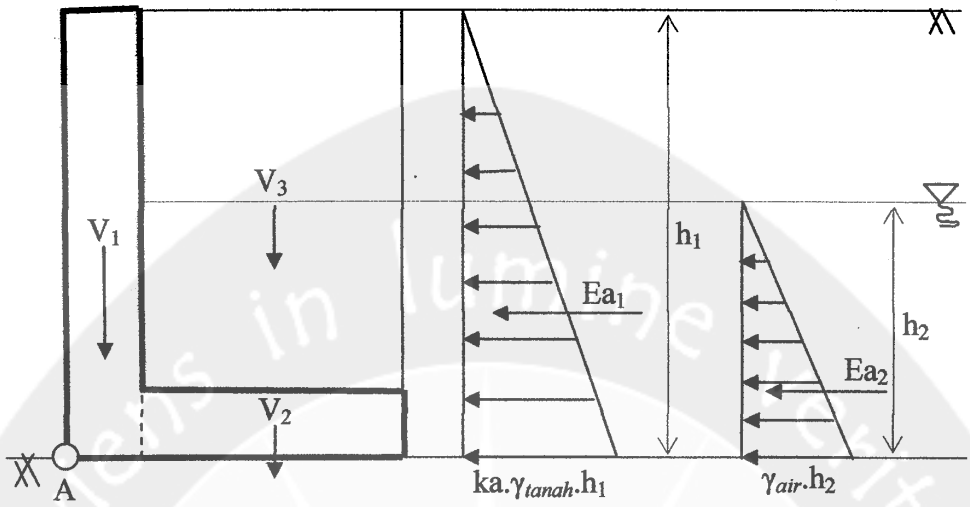
3. Untuk hubungan lainya

$$1{,}0\sqrt{f_c'}A_j \qquad (2\text{-}69)$$

## 2.12 Dinding Penahan Tanah

Dalam perancangan dinding penahan tanah harus ditinjau kestabilannya terhadap tiga hal di bawah ini.

1. stabilitas terhadap guling,
2. stabilitas terhadap penggeseran, dan
3. stabilitas terhadap tanah dasar.




Gambar 2.7. Gaya-gaya pada dinding penahan tanah

### 2.12.1 Stabilitas terhadap guling

Konstruksi akan terguling apabila momen penahan tidak mampu menahan momen pengguling yang terjadi padanya, dengan mengambil sebuah titik putar pada salah satu ujungnya. Dalam kondisi seimbang $\Sigma M = 0$, dengan :

$$\text{Angka keamanan } SF = \frac{\sum M_{penahan}}{\sum M_{pengguling}} \qquad (2\text{-}70)$$

dengan:

SF ≥ 1,5 untuk jenis tanah non-kohesif (pasir)
SF ≥ 2 untuk jenis tanah kohesif (lempung)

### 2.12.2 Stabilitas terhadap geser

Selain menghitung stabilitas terhadap guling, juga harus dihitung stabilitas terhadap geser. Dalam keadaaan seimbang $\Sigma F = 0$ dan $\Sigma M = 0$, dengan angka aman yang ditentukan sebagai berikut ini.

1. tanah dasar berupa tanah non-kohesif

$$SF = \frac{gaya\ lawan}{gaya\ dorong} = \frac{(v.f) + E_p}{E_a} \geq 1{,}5 \qquad (2\text{-}71)$$

2. tanah dasar berupa tanah kohesif

$$SF = \frac{gaya\ lawan}{gaya\ dorong} = \frac{\left(\frac{2}{3} \cdot c \cdot b\right) + E_p}{E_a} \geq 1{,}5 \qquad (2\text{-}72)$$

3. tanah dasar berupa tanah campuran

$$SF = \frac{gaya\ lawan}{gaya\ dorong} = \frac{(V.f) + \left(\frac{2}{3} \cdot c \cdot b\right) + E_p}{E_a} \geq 1{,}5 \qquad (2\text{-}73)$$

dengan:

v = gaya vertikal pada dinding penahan tanah
f = gaya gesek antara dinding beton dengan tanah dasar
$E_a$ = gaya dorong akibat tekanan tanah aktif
$E_p$ = gaya dorong akibat tekanan tanah pasif
$c$ = kohesi tanah
$b$ = lebar dinding penahan tanah sejajar bidang gambar

### 2.12.3 Stabilitas terhadap daya dukung danah

Besarnya daya dukung tanah ditentukan dengan formulasi yang dikemukakan oleh Karl Terzaghi, yaitu seperti berikut ini.

$$\sigma_{ult} = \alpha \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \qquad (2\text{-}74)$$

Rumus di atas adalah jika tanah padat dalam kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Kondisi lain, jika tanah sangat tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar. Kondisi ini disebut keruntuhan geser lokal (*local shear failure*). Untuk hitungan daya dukung tanah untuk jenis tanah macam ini, Terzaghi menyarankan koreksi empiris faktor-

faktor kapasitas dukung, yaitu dengan menghitung kembali dengan menggunakan $\phi'$ dan $c'$, sehingga persamaan dinyatakan sebagai berikut ini.

$$\sigma_{ult} = \alpha \cdot c' \cdot N_c' + q \cdot N_q' + \beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma' \qquad (2\text{-}75)$$

dengan :

$$tan\ \phi' = 2/3\ .\ \tan \phi \qquad (2\text{-}76)$$

$$c' = 2/3\ .\ c \qquad (2\text{-}77)$$

Nilai $N_c'$ , $N_q'$ dan $N'_\gamma$ berdasarkan Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1, 1991, J.E. Bowles, dapat dilihat pada Tabel 2.3.

$$\overline{\sigma} = \frac{\sigma_{ult}}{SF} \qquad (2\text{-}78)$$

dengan :

| | |
|---|---|
| $\sigma_{ult}$ | = daya dukung tanah ultimit |
| $\alpha,\beta$ | = faktor bentuk pondasi |
| $c$ | = kohesi tanah |
| $q$ | = berat volume tanah di atas bidang dasar |
| $B$ | = lebar terkecil |
| $N_c,N_q,N_\gamma$ | = koefisien daya dukung tanah |
| $\overline{\sigma}$ | = daya dukung ijin tana |

Tabel 2.3. Daftar Nilai Koefisien Daya Dukung Tanah "Terzaghi"
(Sumber : Bowles, J.E, 1991)

| GENERAL SHEAR | | | $\phi$ | LOCAL SHEAR | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | | $N_c'$ | $N_q'$ | $N_\gamma'$ | |
| 5,7 | 1,0 | 0,0 | 0° | 5,7 | 1,0 | 0,0 | *** |
| 7,3 | 1,6 | 0,5 | 5° | 6,7 | 1,4 | 0,2 | |
| 9,6 | 2,7 | 1,2 | 10° | 8,0 | 1,9 | 0,5 | |
| 12,9 | 4,4 | 2,5 | 15° | 9,7 | 2,7 | 0,9 | |
| 17,7 | 7,4 | 5,0 | 20° | 11,8 | 3,9 | 1,7 | |
| GENERAL SHEAR | | | $\phi$ | LOCAL SHEAR | | | |
| $N_c$ | $N_q$ | $N_\gamma$ | | $N_c'$ | $N_q'$ | $N_\gamma'$ | |
| 25,1 | 12,7 | 9,7 | 25° | 14,8 | 5,6 | 3,2 | |
| 37,2 | 22,5 | 19,7 | 30° | 19,0 | 8,3 | 5,7 | |
| 57,8 | 41,4 | 42,4 | 35° | 25,2 | 12,6 | 10,1 | |
| 95,7 | 81,3 | 100,4 | 40° | 34,9 | 20,5 | 18,8 | |

Catatan: *** lempung murni kenyang air

Untuk dinding penahan tanah, analisis dapat dilakukan dengan menganggap sebagai pondasi menerus untuk mencari daya dukung tanah ultimit.

1. Untuk jenis tanah lempung, pasir, atau campuran keduanya

$$\sigma_{min} = \frac{V}{A} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b}\right) \geq 0 \qquad (2\text{-}79)$$

$$\sigma_{max} = \frac{V}{A} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b}\right) \geq \sigma_{tanah} \qquad (2\text{-}80)$$

dimana:

$$e < 1/6 \, . \, b \qquad (2\text{-}81)$$

2. Untuk jenis tanah keras (cadas, batuan)

$$\sigma_{max} = \frac{2.V}{3.\left(\frac{b}{2} - e\right)} < \sigma_{tanah} \qquad (2\text{-}82)$$

dimana:

$$e \geq 1/6 \, . \, b \qquad (2\text{-}83)$$

dengan :

$V$ = gaya vertikal pada dinding penahan tanah
$b$ = lebar dinding penahan tanah sejajar bidang gambar
$e$ = eksentrisitas

## 2.13 Perencanaan Pondasi

### 2.13.1 Perencanaan *Bored Pile*

Besarnya daya dukung ultimit untuk satu tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Q_a = \frac{\sum Qsi}{SF_S} + \frac{Q_b}{SF_b} - \frac{W}{SF_w} \quad (2\text{-}84)$$

$$\sum Q_{si} = Jumlah\ keliling \times tf \quad (2\text{-}85)$$

$$Q_b = A_{bor} \times q_c \quad (2\text{-}86)$$

$$W = A_{bor} \times Panjang\ tiang \times \gamma_{beton} \quad (2\text{-}87)$$

dengan:

$Q_a$ = Daya dukung ultimit tiang
$Q_{si}$ = Daya dukung ultimit selimut tiang
$Q_b$ = Daya dukung ultimit ujung tiang
$q_c$ = Tahanan ujung persatuan luas
$tf$ = Gesekan selimut tiang per satuan luas
$A_{bor}$ = Luas penampang tiang bor
$SF$ = Angka Aman

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

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan persamaan seperti yang tercantum di bawah ini.

$$n = \frac{V}{P_1 tiang} \quad (2\text{-}88)$$

dengan :

$n$ = jumlah tiang
$V$ = gaya aksial rencana pondasi

**Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan rumus dan ketentuan sebagai berikut ini.**

$$2{,}5\ D \leq S \leq 3{,}0\ D \qquad (2\text{-}89)$$

dengan :

S = Jarak antar tiang
D = Diameter tiang

Sedangkan jarak tiang ke tepi poer dibatasi dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$1{,}25\ D \leq S \leq 1{,}5\ D \qquad (2\text{-}90)$$

dengan :

$S$ = Jarak tiang ke tepi poer
$D$ = Diameter tiang

### 2.13.2 Kontrol reaksi masing-masing tiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut ini.

$$p_{max} = \frac{\Sigma V}{n} \pm \frac{M_y.x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x.y}{\Sigma y^2} \qquad (2\text{-}91)$$

dengan :

$P_{max}$ = beban maksimum yang diterima tiang
$\Sigma V$ = jumlah total beban normal
n = jumlah tiang dalam satu poer
$M_x$ = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat di dalam poer
$M_y$ = 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
$\Sigma x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang
$\Sigma y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

### 2.13.3 Kontrol terhadap geser dua arah

$$\phi V_n = \phi V_c \tag{2-92}$$

$$V_u < \phi V_n \tag{2-93}$$

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

$$Vc = \frac{1}{3}\sqrt{f'c}.bo.d \tag{2-94}$$

$$Vc = (1+\frac{2}{\beta_c})\frac{\sqrt{f'c}}{6}bo.d \tag{2-95}$$

$$Vc = (\frac{\alpha_s.d}{bo}+2)\frac{\sqrt{f'c}}{12}bo.d \tag{2-96}$$

dengan :

bo = Penampang kritis pada poer
d = Tinggi efektif poer
$\beta_c$ = Luas penampang kolom
Qu = Gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis
b = h = Dimensi ukuran poer
k = l = Dimensi ukuran kolom

### 2.13.4 Kontrol terhadap geser satu arah

$$V_u < \phi V_n \tag{2-97}$$

$$\phi V_n = \phi V_c \tag{2-98}$$

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}.b\ .d \tag{2-99}$$

$$Vu = Qu\ .\ q\ .\ L \tag{2-100}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \tag{2-101}$$

$$q = \frac{1}{2}lebar\ poer - \frac{1}{2}lebar\ kolom - d \tag{2-102}$$

dengan :

$V_u$ = kuat geser total terfaktor
$V_n$ = kuat geser nominal
$V_c$ = kuat geser yang disumbangkan oleh beton
$P_u$ = Daya dukung tiang
$b_o$ = penampang kritis
$A$ =Luas *poer*
$L$ =Lebar *poer*
$d$ = Tinggi efektif

### 2.13.5 Perencanaan tulangan *bored pile*

Perencanaan tulangan *bored pile* harus memenuhi persamaan :

$$\phi. P_n \geq P_u \qquad (2\text{-}103)$$

dimana :

$$P_n = 0{,}8.[0{,}85.f'c.(Ag - Ast) + fy.Ast] \qquad (2\text{-}104)$$

dengan :
$Ag$ = luas penampang *bored pile*
$Ast$ = luas tulangan *bored pile*