

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 beban statik ekuivalen yang bekerja dalam gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu, maka yang diartikan dengan gempa disini ialah gaya-gaya 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 tekanan udara.

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 sumbu 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).

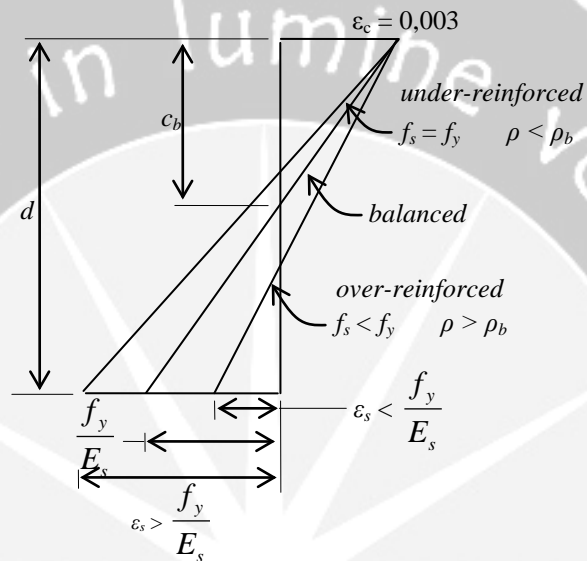
1. Penampang *balanced*.

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 0,003 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 ε_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_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 Fondasi

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

2.6 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 :

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots(2-1)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R \dots\dots\dots(2-2)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 R \dots\dots\dots(2-3)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots(2-4)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots(2-5)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 E \dots\dots\dots(2-6)$$

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 (Φ) 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.

2.7 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 ekuivalen.

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:

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

dengan :

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

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

$$V \geq 0,8 \cdot V_1 \dots \dots \dots (2-8)$$

dengan :

- V = gaya geser dasar nominal
- V_1 = beban gempa horisontal

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 :

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

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 :

$$T_1 < \zeta.n \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan :

T_1 = waktu getar alami fundamental,

ζ = koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung,

n = jumlah tingkatnya

Tabel 2.1. Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	Z
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

2.8 Perencanaan Atap Baja

Dalam merencanakan atap baja, kuda - kuda baja diletakkan di atas kolom dan dimodelkan sebagai truss. 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.

Langkah-langkah melakukan perhitungan Perencanaan atap baja adalah :

1. Menentukan panjang dan tinggi masing-masing batang pada kuda-kuda.
2. Menghitung perencanaan gording
3. Menghitung momen, kontrol tegangan, dan lendutan yang terjadi pada Gording
4. Menghitung perencanaan sagrod.
5. Menghitung Analisa Struktur Rangka dengan menggunakan SAP 2000 Nonlinier.
6. Menentukan profil yang digunakan pada rangka kuda-kuda.
7. Menghitung perencanaan sambungan baut pada rangka kuda-kuda.

2.9 Perencanaan Tangga

Dalam merencanakan tangga, tangga dimodelkan sebagai pelat dengan lebar 1000 mm.

2.9.1 Perencanaan lentur

Perencanaan tulangan lentur dihitung dengan menggunakan balok bertulangan tunggal, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang adalah seperti berikut ini.

$$C_c = T \dots \dots \dots (2-11)$$

$$0,85.f'_c.a.b = \rho.b.d.f_y \dots \dots \dots (2-12)$$

$$a = \rho \left(\frac{f_y}{0,85.f'_c} \right) d \dots \dots \dots (2-13)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$M_n = C_c.(d-0,5.a) \dots \dots \dots (2-14)$$

$$= T_s.(d-0,5.a) \dots \dots \dots (2-15)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots \dots \dots (2-16)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{M_u}{0,8.b.d^2} \dots \dots \dots (2-17)$$

Penentuan rasio tulangan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85.f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f'_c}} \right) \dots \dots \dots (2-18)$$

Dengan diketahui nilai ρ 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 ρ maksimum untuk tulangan tarik tunggal sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.3(3) ditentukan dengan persamaan berikut ini.

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

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan seperti berikut.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ perlu} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2-$$

20)

$$A_s \text{ max} = \rho \text{ max} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2-$$

21)

$$A_s \text{ min} = \rho_g \cdot b \cdot h \dots \dots \dots (2-$$

22)

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{s \text{ min}} \leq A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \text{ max}} \dots \dots \dots (2-23)$$

dengan :

C_c = gaya desak beton

T_s = gaya tarik baja

f'_c = kuat tekan beton

f_y = tegangan leleh baja

c = letak garis netral terhadap tepi desak

a = jarak blok desak beton

b = lebar penampang balok

h = tinggi penampang balok

d = tinggi efektif balok

ρ = rasio penulangan

M_u = momen *ultimate* balok

M_n = momen nominal balok

2.9.2 Perencanaan lentur

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 seperti yang tercantum di bawah ini.

1. $\rho_g > 0,0014$
2. untuk $f_y = 300 \text{ MPa}$, $\rho_g = 0,0020$
3. untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, $\rho_g = 0,0018$

4. untuk $f_y > 400$ MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 %,

$$\rho_g = 0,0018 \times 400/f_y$$

Untuk nilai $f_y = 240$ MPa, ρ_g didapat dari interpolasi 0,0020 dan 0,0018, yaitu seperti yang tercantum di bawah ini.

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

2.10 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 α_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 α_m lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2,0 pelat minimum harus memenuhi persamaan berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \cdot \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2-24)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm,

3. Untuk α_m yang lebih besar dari 2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9, \beta} \dots\dots\dots (2-25)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

untuk ketiga syarat di atas,

α = 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.

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

β = 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.

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2, \text{ berarti tipe pelat dua arah} \dots\dots\dots (2-26)$$

$$\frac{l_y}{l_x} > 2, \text{ merupakan tipe pelat satu arah} \dots\dots\dots (2-27)$$

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

$$d_x = h - (p + \phi_x) \dots\dots\dots (2-28)$$

$$d_y = h - (p + \phi_x + 0,5 \cdot \phi_y) \dots\dots\dots (2-29)$$

Rasio penulangan ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \dots\dots\dots(2-30)$$

Dengan: $R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{M_u}{0,8 \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2-31)$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2-32)$$

Perhitungan luas tulangan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-33)$$

$$A_{s \text{ max}} = \rho_{\text{max}} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-34)$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_g \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2-35)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{s \text{ min}} \leq A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \text{ max}} \dots\dots\dots(2-36)$$

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

- ρ_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, $\rho_g = 0,0018 \times 400/f_y$

dengan:

h = tebal pelat

- d = tinggi efektif balok
 p = selimut beton
 \varnothing_x = diameter tulangan arah x
 \varnothing_y = diameter tulangan arah y
 M_n = momen nominal
 M_u = momen ultimit
 b = lebar pelat = 1000 mm
 β_1 = 0,85 untuk $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$
 $= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 30}{7} \right)$ untuk $f'_c > 30 \text{ MPa}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65
 f_y = tegangan leleh baja
 f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan
 ρ = rasio penulangan

2.11 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)

Komponen Struktur	Tebal Minimum, h			
	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.

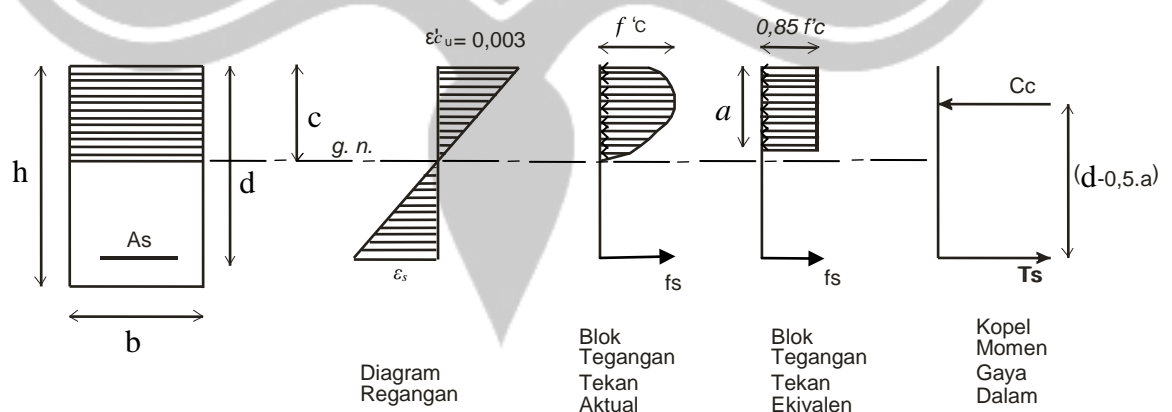
1. bentang l dalam mm,
2. nilai yang digunakan untuk komponen struktur beton normal $W_c = 2400$ kg/m³ dan tulangan dengan mutu baja BJTD 40 atau $f_y = 400$ MPa,
3. apabila $f_y \neq 400$ MPa, maka harus dikalikan dengan $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$.

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.

2.11.1 Tulangan lentur

Perencanaan tulangan lentur dengan tulangan tunggal, dimana keseimbangan gaya-gaya dalam penampang sesuai Gambar 2. sebagai berikut.



Gambar 2.2. Distribusi Tegangan Regangan Balok

(Sumber: Dipohusodo, 1994)

Keseimbangan gaya horizontal.

$$C_c = T_s \dots\dots\dots(2-37)$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \quad \longrightarrow \quad A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-38)$$

$$a = \rho \cdot \left(\frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \right) \cdot d \quad (3-76)$$

Keseimbangan momen.

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = T_s \cdot \left(d \cdot \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2-39)$$

koefisien tahanan didefinisikan dengan persamaan berikut ini.

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2-40)$$

$$\text{dengan: } M_n = \frac{Mu}{\Phi}, \text{ dengan } \Phi = 0,8 \dots\dots\dots(2-41)$$

Penentuan nilai ratio tulangan (ρ)

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \dots\dots\dots(2-42)$$

Ratio tulangan (ρ_{maks})

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2-43)$$

Luas tulangan yang digunakan adalah seperti berikut ini.

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-$$

44)

Luas tulangan minimum

$$A_{s\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2-45)$$

Luas tulangan maksimum pada komponen struktur lentur adalah sebagai berikut.

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2-46)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{s_{min}} \leq A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{max}} \dots \dots \dots (2-47)$$

Jika $A_{s_{perlu}} < A_{s_{min}}$ maka yang digunakan dalam hitungan adalah $A_{s_{min}}$, sedangkan jika $A_{s_{perlu}} > A_{s_{max}}$, maka tulangan direncanakan menggunakan tulangan rangkap.

dengan :

- C_c = gaya desak beton
- T_s = gaya tarik baja
- b = lebar balok
- d = tinggi efektif balok
- a = kedalaman balok tegangan beton tekan
- A_s = luas tulangan tarik
- ρ = ratio tulangan
- f'_c = kuat tekan beton
- f_y = tegangan luluh baja
- R_n = koefisien tahanan
- β_1 = 0,85 untuk $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$
 $= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 30}{7} \right)$ untuk $f'_c > 30 \text{ MPa}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65
- $A_{s_{min}}$ = luas tulangan minimum yang dibutuhkan
- $A_{s_{perlu}}$ = luas tulangan yang dibutuhkan
- $A_{s_{max}}$ = luas tulangan maksimum yang dibutuhkan

Pada struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut (SNI 03-2847-2002, pasal 23.3(2(2))).

2.11.2 Tulangan geser

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2-48)$$

dengan :

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- V_n = kuat geser nominal
- V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Besarnya kuat geser nominal, yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2-49)$$

)

dengan :

- V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur beton non- pratekan atau beton pada komponen struktur pratekan
- V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

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

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2-50)$$

dengan :

- V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
- f'_c = kuat tekan beton
- V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau
- b_w = lebar penampang balok
- d = tinggi efektif balok

Pemasangan tulangan geser diperlukan jika memenuhi persamaan berikut.

$$\frac{V_u}{\phi} > V_c \dots\dots\dots (2-51)$$

Jika pemasangan tulangan geser diperlukan, kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang tercantum di bawah ini.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots (2-52)$$

Tetapi harus diperhatikan bahwa menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(9)) kuat geser V_s tidak boleh lebih dari V_s maksimum, dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2-53)$$

Batasan spasi maksimum tulangan geser ditentukan dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(4(1) dan 13.5(4(3)).

- Jika $V_s \leq \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$; spasi tulangan geser yang dipasang tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm,
- Jika $V_s > \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$; spasi tulangan geser yang dipasang tidak boleh melebihi $d/4$ atau 300 mm.

Dari SNI 03-2847-2002, pasal 13.6(1(a)), pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir T_u besarnya kurang dari persamaan berikut ini.

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'_c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots (2-54)$$

dengan :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

ϕ = faktor reduksi kekuatan

P_{cp} = keliling luar penampang beton

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

Jika menurut hasil analisis dibutuhkan tulangan geser dan bila pengaruh puntir dapat diabaikan, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur non-prategang, harus dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2002, pasal 13.5(5(3)).

$$A_v = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot s}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2-55)$$

Tetapi A_v tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y} \dots\dots\dots (2-56)$

Spasi tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang tercantum pada SNI 03-2847-2002, pasal 13.5(6(2)).

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (2-57)$$

dengan :

- s = spasi tulangan geser
- A_v = luas tulangan geser
- f_y = tegangan luluh baja
- d = tinggi efektif balok

SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(4) menyatakan gaya geser rencana balok untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah seperti berikut ini.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \pm \frac{W_u L}{2} \dots\dots\dots (2-$$

58)

dengan :

- V_e = gaya geser rencana balok
- M_{pr1} = kuat momen lentur 1
- M_{pr2} = kuat momen lentur 2
- L = bentang balok
- W_u = beban gravitasi

$$W_u = 1,2 \cdot DL + 1,0 \cdot LL \dots\dots\dots (2-59)$$

Dalam SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(4(2)), dikatakan bahwa, pada daerah sendi plastis (di sepanjang dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang), kontribusi geser dari beton $V_c = 0$ apabila memenuhi kondisi sebagai berikut ini.

1. gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih daripada kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut,
2. gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g \cdot f'_c / 20$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(3(2)), sengkang penutup pertama harus dipasang tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup pada daerah sendi plastis diambil nilai terkecil dari :

- $d/4$,
- 8 kali diameter tulangan memanjang,
- 24 kali diameter tulangan sengkang,
- 300 mm.

Batas spasi tulangan geser pada daerah di luar sendi plastis menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.5(6(9)), tidak boleh melebihi :

- $d/2$,
- 600 mm.

2.11.3 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 seperti berikut ini.

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'_c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots \dots \dots (2-60)$$

dengan :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

ϕ = 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.

$$\phi \cdot T_n \geq T_u \dots \dots \dots (2-61)$$

dengan :

T_u = momen puntir terfaktor pada penampang

T_n = kuat momen puntir nominal penampang

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

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2 \cdot \sqrt{f'_c}}{3} \right) \dots \dots \dots (2-62)$$

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.

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta \dots \dots \dots (2-63)$$

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

$$A_v + 2A_t = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c}}{1200} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots\dots\dots (2-64)$$

namun harus diperhatikan bahwa syarat berikut ini harus terpenuhi.

$$A_v + 2 \cdot A_t \geq \frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots\dots\dots (2-65)$$

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

2.12 Perencanaan Kolom

2.12.1 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 goyangan samping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila

$$\frac{k \cdot \lambda_u}{r} < 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots \dots \dots (2-66)$$

dengan :

- k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
- r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan,
- λ_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.

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{E_c \cdot I_c}{l_c} \right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{E_b \cdot I_b}{l_b} \right)_{Balok}} \dots \dots \dots (2-67)$$

dengan :

- ψ = 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,
 λ = 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 % ($0,35 I_g$)

2.12.2 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 seperti berikut ini.

1. Menghitung gaya aksial dan momen dua arah yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$a. P_n = \frac{P_u}{\Phi} \dots\dots\dots (2-68)$$

$$b. M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\Phi} \dots\dots\dots (2-69)$$

$$c. M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\Phi} \dots\dots\dots (2-70)$$

2. Menghitung perkiraan kuat momen uniaksial yang bekerja pada struktur yaitu seperti berikut ini.

$$a. \text{ Untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} > \frac{b}{h} \text{ digunakan rumus:}$$

$$M_{noy} : M_{nx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{(1-\beta)}{\beta} + M_{ny} \dots \dots \dots (2-71)$$

- b. Untuk $\frac{M_{ny}}{M_{nx}} < \frac{b}{h}$ digunakan rumus:

$$M_{nox} : M_{ny} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{(1-\beta)}{\beta} + M_{nx} \dots \dots \dots (2-72)$$

3. Berdasarkan nilai M dan P yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, kolom dirancang secara uniaksial dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$M_{od} = \frac{M_{nox}}{f'_c \cdot b \cdot h^2} \dots \dots \dots (2-73)$$

$$N_{od} = \frac{P_n}{f'_c \cdot b \cdot h} \dots \dots \dots (2-74)$$

4. Berdasarkan nilai M_{od} dan N_{od} yang telah dihitung, dengan menggunakan diagram interaksi yang ada dapat diperoleh rasio tulangan ρ_s .
5. Menghitung kuat beban uniaksial maksimum tanpa adanya momen yang bekerja (lentur murni, $\rho_u = 0$) dengan rumus :

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

6. Menentukan kekuatan penampang dengan menggunakan “*Bresler Reciprocal Load Method*”, yaitu dengan menjumlahkan kapasitas suatu penampang kolom yang berada dibawah aksial tekan dan lentur dua arah, yaitu dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_n < \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} + \frac{1}{P_o}} \dots \dots \dots (2-75)$$

dengan :

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

P_o = kuat beban kolom uniaksial maksimum tanpa adanya momen yang bekerja
(lentur murni, $P_u = 0$)

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

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 berikut ini.

$$\Sigma Me \geq \frac{6}{5} \cdot \Sigma Mg \dots \dots \dots (2-76)$$

dengan :

ΣMe : 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.

ΣMg : Jumlah momen-momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok kolom.

Batasan rasio diatur dalam SNI 03-2847-2002, pasal 23.4(3(1)) dengan rasio penulangan tidak boleh kurang daripada 0,01 dan tidak boleh lebih daripada 0,06.

2.12.3 Tulangan tranversal

SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(1b)), luas penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sebagai berikut ini.

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \left(s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \cdot \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \dots \dots \dots (2-77)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \dots \dots \dots (2-78)$$

dengan :

A_{sh} = luas total penampang sengkang tertutup persegi

A_g = luas brutto penampang

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

h_c = dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekaang

s = spasi tulangan transversal

f_{yh} = tegangan leleh baja tulangan transversal

f'_c = kuat tekan beton

Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 23.4(5), gaya geser rencana V_e pada kolom harus diperhitungkan dengan persamaan berikut ini.

dengan:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \dots \dots \dots (2-79)$$

M_{pr} = momen ujung kolom

L = tinggi kolom

Gaya geser yang diperoleh akibat momen pada ujung-ujung kolom tidak perlu lebih besar daripada yang diperoleh berdasarkan M_{pr} balok yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut. menurut persamaan berikut ini.

$$V_{e_{balok}} = \frac{(Df_{ujung\ atas} \cdot M_{pr_{atas}}) + (Df_{ujung\ bawah} \cdot M_{pr_{bawah}})}{L_n} \dots \dots \dots (2-80)$$

$$Df = \frac{E_c \cdot I_c}{E_c \cdot I_{c_{atas}} + E_c \cdot I_{c_{bawah}}} \dots \dots \dots (2-81)$$

Df merupakan faktor reduksi akibat kekakuan struktur.

Berdasarkan SNI 03–2847–2002 pasal 23.4(5(1)), gaya geser rencana (V_e) untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom harus ditentukan dari kuat momen maksimum M_{pr} dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu di hubungan balok-kolom yang bersangkutan. Gaya geser rencana (V_e) tersebut tidak perlu lebih besar daripada gaya geser rencana berdasarkan kuat momen balok yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut, namun tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Menurut SNI 03–2847–2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan seperti berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \dots \dots \dots (2-82)$$

dimana :

V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (2-$$

83)

Dengan V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.3.(2), kuat geser yang disumbang oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (2-84)$$

$$\text{dan } V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2-85)$$

- 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 bersamaan w_u
 b_w = lebar balok
 f_y = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan
 f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan
 h_x = spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang

Batasan spasi tulangan transversal yang dipasang sepanjang λ_0 dari setiap muka hubungan balok kolom dalam SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(2)) diatur tidak lebih daripada:

1. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil kolom,
2. 6. diameter tulangan longitudinal,
3. $S_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$.

Dengan nilai S_x tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100 mm, dan h_x adalah spasi horisontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang.

Tulangan transversal tersebut menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(4)), harus dipasang sepanjang λ_0 dari setiap muka hubungan balok kolom, dengan panjang λ_0 ditentukan tidak kurang daripada :

1. tinggi penampang kolom pada muka hubungan balok-kolom,
2. $\frac{1}{6}$ bentang bersih komponen struktur,
3. 500 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4(4(6)), pada daerah di luar λ_o harus dipasang tulangan spiral atau sengkang tertutup dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih daripada nilai terkecil dari:

1. 6 kali diameter tulangan longitudinal,
2. 500 mm.

2.12.4 Hubungan Balok Kolom

Dimensi kolom bila tulangan lentur balok diteruskan hingga melewati hubungan balok kolom tidak boleh kurang dari dua puluh kali diameter tulangan lentur balok untuk beton berat normal.

Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup harus terpasang dalam daerah hubungan balok kolom, dengan luas total penampang sengkang tertutup persegi setidaknya-tidaknya sejumlah setengah dari:

$$A_{sh} = 0,3 \left(s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \dots\dots\dots (2-86)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \dots\dots\dots (2-87)$$

Tulangan transversal dipasang setinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan dapat diperbesar menjadi 150 mm. Bila lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, maka tulangan geser harus dipasang pada hubungan balok kolom untuk memberikan kekangan terhadap tulangan lentur balok yang berada di luar daerah inti kolom, terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada hubungan balok kolom.

Gaya geser yang mungkin terjadi diperoleh dari gaya yang terjadi pada balok-balok yang merangka dan gaya geser kolom, V_h .

Kuat geser nominal hubungan balok kolom tidak boleh diambil lebih besar dari persamaan – persamaan berikut ini.

1. Untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada keempat sisinya adalah

$$1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-88)$$

2. Untuk hubungan balok kolom yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan adalah $1,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-89)$

3. Untuk hubungan balok kolom lainnya adalah $1,0 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-90)$

dimana A_j adalah luas efektif hubungan balok kolom.

2.13 Perencanaan Fondasi

2.13.1. Perencanaan *Bored Pile*

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

$$Q_a = \frac{\sum Q_{si}}{SF_s} + \frac{Q_b}{SF_b} - \frac{W}{SF_w} \dots\dots\dots (2-91)$$

dengan :

$$\sum Q_{si} = \text{Jumlah keliling} \times t f \dots\dots\dots (2-92)$$

$$Q_b = A_{bor} \times q_c \dots\dots\dots (2-93)$$

$$W = A_{bor} \times \text{Panjang tiang} \times \gamma_{beton} \dots\dots\dots (2-94)$$

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.

$$n = \frac{V}{P_{\text{tiang}}} \dots \dots \dots (2-95)$$

dengan :

n = jumlah tiang
 V = gaya aksial rencana pondasi

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

$$2,5 D \leq S \leq 3,0 D \dots \dots \dots (2-96)$$

dengan :

S = Jarak antar tiang
 D = Diameter tiang

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

$$1,25 D \leq S \leq 1,5 D \dots \dots \dots (2-97)$$

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.

$$p_{\max} = \frac{\Sigma V}{n} \dots\dots\dots (2-98)$$

dengan :

P_{\max} = beban maksimum yang diterima tiang

ΣV = jumlah total beban normal

n = jumlah tiang dalam satu poer

2.13.3. Kontrol terhadap geser dua arah

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (2-99)$$

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots (2-100)$$

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

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot bo \cdot d \dots\dots\dots (2-101)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'c}}{6} bo \cdot d \dots\dots\dots (2-102)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{bo} + 2\right) \frac{\sqrt{f'c}}{12} bo \cdot d \dots\dots\dots (2-103)$$

dengan :

bo = Penampang kritis pada poer

d = Tinggi efektif poer

β_c = Luas penampang kolom

Q_u = 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

$$V_u < \phi V_n \dots\dots\dots (2-104)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \dots\dots\dots (2-105)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2-106)$$

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \dots\dots\dots (2-107)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (2-108)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{lebar poer} - \frac{1}{2} \text{lebar kolom} - d \dots\dots\dots (2-109)$$

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 :

$$\phi \cdot P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2-110)$$

dimana :

$$P_n = 0,8 \cdot [0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \dots\dots\dots (2-111)$$

dengan :

A_g = luas penampang *bored pile*

A_{st} = luas tulangan *bored pile*

