

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar dasar Pembebanan

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia (PPI) untuk gedung 1983, struktur gedung harus direncanakan terhadap beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban angin. Menurut PPI 1983, pengertian dari beban adalah:

1. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu struktur gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta alat tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah.
3. Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
4. Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekan udara.

2.2. Elemen elemen struktur

2.2.1. Kolom

Kolom adalah elemen struktur tekan vertikal pada rangka gedung yang mempunyai dimensi panjang jauh lebih besar daripada dimensi penampang

melintang. Kolom merupakan elemen struktur yang mengalami beban aksial (konsentris), yaitu arah bebannya berhimpit dengan sumbu berat longitudinal elemen tersebut. Kolom meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (Runtuh) lantai yang bersangkutan dan juga runtuhnya seluruh struktur. Perencanaan kolom dilakukan lebih kuat dibanding balok, dengan prinsip tahan gempa (SNI 03-2847-2002)

2.2.2. Balok

Balok merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban dan pelat lantai ke kolom penyangga vertikal yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbu yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok. Konsep desain kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom lebih kuat dari balok balok portal (*strong column weak beam*).

2.2.3. Pelat

Pelat merupakan sebuah bidang datar yang lebar, biasanya mempunyai arah horizontal dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Pelat lantai sendiri berupa panel panel beton bertulang yang mungkin bertulang satu arah atau dua arah tergantung sistem strukturnya. Pelat direncanakan menggunakan satu arah bila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih

besar daripada dua, sebaliknya pelat direncanakan menggunakan dua arah jika perbandingan lebih kecil sama dengan dua.

2.2.4. Dinding Geser

Dinding geser adalah dinding yang berfungsi menahan gaya lateral akibat angin, gempa dan lainnya. Bentuk dan penempatan dinding geser juga akan menyumbang penambahan kekuatan terhadap momen guling, gaya geser lantai, torsi lantai.

Dinding geser beton bertulang berangkai adalah suatu sub sistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang terdiri dari dua buah atau lebih dinding geser, dimana masing masing momen lelehnya dapat mengalami peningkatan hampir sepenuhnya akibat pengerasan regangan (SNI 03-1726-2002)

2.2.5. Pondasi

Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan terbawah (Dipohusodo,1999). Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa tipe pondasi.

Pemilihan tipe pondasi didasarkan atas:

- a) Fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang dipikul pondasi tersebut.
- b) Besarnya beban dan berat bangunan atas.
- c) Keadaan tanah untuk mendukung bangunan yang akan didirikan.
- d) Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Ada beberapa alasan yang dapat dipakai sebagai acuan untuk pemilihan pondasi *bored pile* yaitu karena tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak

mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak sangat dalam.

Pondasi *bored pile* merupakan salah satu pengembangan dari bentuk pondasi tiang. Secara singkat dapat diterangkan bahwa pondasi tiang adalah elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Berdasarkan cara pemancangannya, pondasi tiang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor. Pemilihan salah satu jenis pondasi tiang bor yaitu pondasi *bored pile* disebabkan karena tipe ini memiliki beberapa keuntungan:

- a) Dapat dilakukan pada berbagai jenis tanah.
- a) Lebih ekonomis jika ditinjau dari segi biaya pelaksanaan
- b) Gangguan lingkungan yang minimal. Suara, getaran dan gerakan dari tanah disekitar dapat dikatakan minimum.
- c) Mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang relatif besar.
- d) Permanen.

2.3. Analisa pembebanan

Faktor beban diperlukan pada analisis beban suatu gedung agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekakuan dan layak dipakai terhadap bermacam macam kombinasi pembebanan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 kombinasi beban yang harus dipenuhi:

a) Kuat perlu

1. Kuat perlu (U) untuk menahan beban mati (D) paling tidak harus sama dengan

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

Kuat perlu (U) yang menahan beban mati (D) dan beban hidup (L) dan juga beban atap (A) atau beban hujan (R)

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

2. Apabila beban angin (W) diperhitungkan, maka dipilih nilai U terbesar antara:

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

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

3. Kuat perlu (U) yang menahan kombinasi beban mati (D), beban hidup (L) dan beban gempa (E) adalah:

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E \pm 0,3E_y \dots\dots\dots (2-5)$$

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 0,3E_x \pm 1,0E_y \dots\dots\dots (2-6)$$

$$U = 0,9D \pm 1,0E_x \pm 0,3E_y \dots\dots\dots (2-7)$$

$$U = 0,9D \pm 0,3E_x \pm 1,0E_y \dots\dots\dots (2-8)$$

Dengan: U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

A = beban atap

b) Kuat rencana

Kuat rencana dihitung sesuai dengan sifat penampang yang ditinjau dengan memasukkan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Penentuan kuat rencana harus melebihi kekuatan yang diperlukan dalam menahan gaya-gaya yang bekerja. SNI 03-2847-2002 mengatur sebagai berikut:

1. Kekuatan lentur tanpa beban aksial $\phi = 0,8$
2. Kekuatan aksial tarik dan tarik dengan lentur $\phi = 0,8$
3. Kekuatan aksial tekan dan tekan dengan lentur, komponen struktur dengan tulangan spiral/senggang ikat $\phi = 0,7$, komponen struktur lainnya $\phi = 0,65$
4. Geser dan torsi $\phi = 0,75$

2.4. Metode Analisis Gempa

Struktur gedung yang tidak memenuhi SNI 03-1726-2002 pasal 4.2.2, yaitu struktur gedung tidak beraturan, harus memperhatikan ketentuan perhitungan sebagai berikut:

1. Nilai waktu alami fundamental gedung (T_1).

Nilai waktu alami fundamental gedung digunakan untuk mencegah struktur gedung yang terlalu fleksibel.

$$T_1 < \xi \cdot n \dots\dots\dots (2-9)$$

Dengan: T_1 = Waktu getar alami fundamental struktur gedung
 ξ = Koefisien untuk wilayah gempa tempat struktur berada
 n = Jumlah tingkat

2. Analisis respon dinamik

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 20% nilai respon ragam pertama.

$$V_t \geq 0,8.V_1 \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana: V_1 = Gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam pertama saja

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon yang telah dilakukan

Untuk menentukan beban geser dasar nominal sebagai respons ragam pertama adalah:

$$V_1 = \frac{C.I.W_t}{R} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan: C = koefisien gempa dasar

I = faktor keutamaan gedung

R = faktor reduksi gempa (SNI 03-1726-2002, Tabel 2)

W_t = berat total gedung

2.5. Perencanaan Pelat

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 9.7 ayat 1.c (BSN, 2002, hal 41) pelindung beton untuk tulangan digunakan 40 mm untuk pelat atap dan 20 mm untuk lantai, keduanya untuk tulangan berdiameter kurang dari 36 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 ayat 3.3 (BSN, 2002, hal 65), tebal pelat minimum dengan balok yang dihubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut ini.

1. Untuk α_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 α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \cdot \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5 \cdot \beta (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2-12)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

3. Untuk α_m lebih besar dari pelat 2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \cdot \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots (2-13)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan : h = tebal pelat

λ_n = panjang bentang bersih balok dalam arah melintang

β = perbandingan antara bentang bersih arah memanjang terhadap arah melintang dari pelat dua arah

α_m = nilai rata-rata dari α

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cb} \cdot I_s} \dots\dots\dots (2-14)$$

dengan : $E_{cb} \cdot I_b$ = modulus elastisitas pada balok

$E_{cb} \cdot I_s$ = modulus elastisitas pada pelat

Untuk ketiga syarat di atas, α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok, α_m adalah nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel, β adalah rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

Perhitungan Momen ultimate didapatkan dari Tabel PBI 1971. Penulangan lentur dan susut mengikuti langkah yang sama dengan yang dijabarkan pada penulangan tangga. Batasan tulangan tarik minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.5 ayat 4 (BSN, 2002, hal 72) diambil nilai besar tulangan susut.

2.6. Perencanaan Balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002) pasal 23.3 ayat 1 (BSN, 2002, hal 208) untuk komponen-komponen struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yang memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul

lentur, batasan penampang komponen struktur tersebut harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini.

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1.A_g.f'_c$
2. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya
3. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3
4. Lebarnya tidak boleh kurang dari 250 mm dan tidak boleh lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

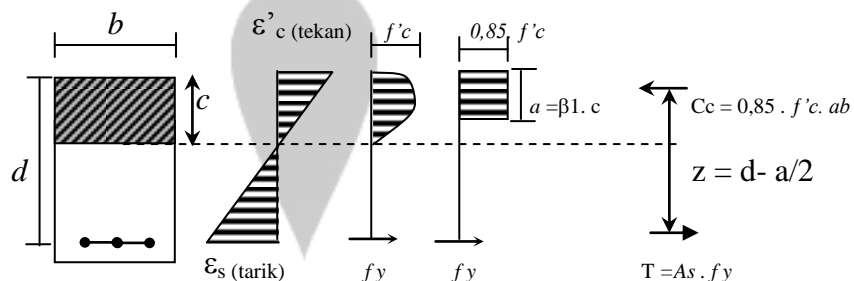
2.6.1. Tulangan Lentur

Perencanaan tulangan lentur balok didasarkan pada penurunan rumus untuk tulangan rangkap..Gaya-gaya yang bekerja pada balok desak beton, baja desak dan baja tarik sesuai gambar 2.1 berturut-turut adalah :

$$C_c = 0,85.f'_c.a.b \dots\dots\dots (2-15)$$

$$C_s = A_s'.f'_s \quad (2-16)$$

$$T_s = A_s.f_y \quad (2-17)$$



Gambar 2.1. Distribusi tegangan regangan balok

(Sumber : Istimawan Dipohusodo, 1999,hal.32)

Langkah-langkah perencanaan elemen balok sebagai berikut ini.

Jika $\epsilon_s' < \epsilon_s$ tegangan pada baja desak padat dihitung dengan :

$$f'_s = 600 \cdot \left(1 - \beta_1 \frac{d'}{a}\right) \dots\dots\dots (2-18)$$

Keseimbangan gaya-gaya horisontal $C_c + C_s$ adalah T_s , dan dengan mengingat persamaan (2-16) dan (2-17) menghasilkan :

$$\rho = 0,85 \cdot \frac{a}{d} \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{1}{\left(1 - \delta \cdot \frac{f'_s}{f_y}\right)} \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan : $\rho = \frac{A_s}{bd} \dots\dots\dots (2-20)$

$$\delta = \frac{A_s'}{A_s} \dots\dots\dots (2-21)$$

Dari keseimbangan momen diperoleh :

$$Mn = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s \cdot (d - d') \dots\dots\dots (2-22)$$

dengan memperhatikan persamaan (2-18), (2-19), (2-20) dan (2-21) dihasilkan :

$$Rn = \rho \left\{ f_y \cdot \left(1 - \delta \cdot \frac{f'_s}{f_y}\right) \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{a}{d}\right) + \delta \cdot f'_s \cdot \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right\} \dots\dots\dots (2-23)$$

dengan tahanan momen Rn didefinisikan sebagai :

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} \quad (2-24)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2-25)$$

Perencanaan tulangan balok menggunakan langkah-langkah sebagai berikut ini.

1. Menganggap suatu tinggi garis netral tertentu.

2. Menghitung f'_s , ρ , momen nominal dan momen ultimit dari persamaan (2-22), (2-23), (2-24) dan (2-25).
3. Nilai momen ultimit dibandingkan dengan nilai momen luar yang bekerja.
4. Hitungan diulang untuk nilai c tertentu sampai didapatkan nilai momen ultimit sama dengan nilai momen luar yang bekerja.
5. Syarat untuk tulangan desak belum luluh :

$$\rho - \rho' < \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot \frac{d'}{d} \dots\dots\dots (2-26)$$

Batasan tulangan maksimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.3 ayat 3 hal 70 dan pasal 23.3 ayat 2.1 (BSN, 2002, hal 209) adalah nilai terkecil dari :

$$\rho \max_1 = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y} \dots\dots\dots (2-27.a)$$

$$\rho \max_1 = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} + \rho' \cdot \frac{\left(600 - (600 + f_y) \cdot \frac{d'}{d} \right)}{f_y} \dots\dots\dots (2-27.b)$$

$$\rho \max_2 = 0,025 \dots\dots\dots (2-27.c)$$

Batasan tulangan minimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 12.5 ayat 1 (BSN, 2002, hal 72) adalah nilai terbesar dari :

$$A_s \min_1 = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \cdot b \cdot w \cdot d \dots\dots\dots (2-28)$$

$$A_s \min_2 = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot w \cdot d \dots\dots\dots (2-29)$$

- dengan :
- b = lebar balok, untuk balok persegi
 - M_n = momen nominal
 - d = tinggi efektif balok
 - A_s = luas tulangan
 - ρ = rasio tulangan tarik
 - ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum
 - ρ_{min} = rasio tulangan minimum
 - f'_c = kuat tekan beton, MPa
 - f_y = tegangan luluh baja, MPa

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \\ &= 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \text{ untuk } f'_c \geq 30 \text{ MPa; syarat } \beta_1 \geq 0,65\end{aligned}$$

2.6.2. Tulangan Geser

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 4 (BSN, 2002, hal 210) gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda perlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum M_{pr} , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Besarnya gaya geser rencana adalah :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} + \frac{wu.L}{2} \dots\dots\dots (2-30)$$

dimana $wu = 1,2.D + 1,0.L \dots\dots\dots (2-31)$

Momen-momen ujung M_{pr} didasarkan pada tegangan tarik 1, 25.fy. Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 3.2 (BSN, 2002, hal 209) mengenai spasi maksimum tulangan transversal, maka jarak maksimum sengkang pada daerah sendi yaitu di daerah sepanjang dua kali tinggi balok, adalah nilai terkecil dari :

1. $\frac{d}{4}$
2. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
3. 300 mm

Jarak maksimum sengkang pada daerah di luar sendi plastis adalah 0,5.d.

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada

$$\Phi.V_n \geq V_u \quad (2-32)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2-33)$$

dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, dimana untuk komponen

struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku : $V_c = \left(\frac{f_c'}{6}\right) b_w d$

..... (2-34)

sedangkan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser sebesar :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2-35)$$

A_v adalah luas tulangan geser dalam daerah sejarak s , yaitu spasi tulangan geser.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 ayat 3.1 (BSN, 2002, hal 97) untuk mencegah kehancuran beton karena aksi *concrete compression* maka dimensi penampang harus memenuhi persamaan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \dots\dots\dots (2-36)$$

Penjelasan dari rumus di atas yaitu, V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang, P_h adalah keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar A_{oh} adalah luas daerah yang dibatasi oleh garis pusat tulangan sengkang torsi terluar. Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus ditentukan dari

$$\Phi T_n \geq T_u \quad (2-37)$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 ayat 3.6 (BSN, 2002, hal 98) tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y v}{s} \cdot \cot \theta \dots\dots\dots (2-38)$$

Penjelasan dari rumus di atas yaitu, T_n adalah kuat momen puntir nominal, A_o adalah luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir pada daerah sejarak s , θ adalah sudut diagonal tekan pada penerapan analogi rangka untuk torsi, s adalah spasi tulangan puntir.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 ayat 5.2 (BSN, 2002, hal 100) luas minimum tulangan sengkang tertutup dihitung dengan ketentuan :

$$(A_v + 2.A_t)_{\min} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c}}{1200} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots\dots\dots (2-39)$$

dalam hal ini $(A_v + 2.A_t) \geq \frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yv}} \dots\dots\dots (2-40)$

2.7. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan bagian dari suatu kerangka bangunan yang menempati posisi terpenting dalam sistem struktur bangunan. Bila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan (Istimawan D., 1999)

Kuat-lentur perlu kolom-portal pada bidang-muka balok harus dihitung berdasarkan terjadinya sendi-plastis pada ujung-ujung balok yang bertemu dengan kolom tersebut.

2.7.1. Tulangan Lentur

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 kuat tekan rencana kolom dengan penulangan sengkang tidak boleh lebih besar dari ketentuan berikut :

$$\phi \cdot P_n = 0,8 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \dots\dots\dots (2-41)$$

dengan : A_g = luas tulangan kolom

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa

f_y = tulangan leleh baja tulangan yang disyaratkan, Mpa

A_{st} = luas tulangan baja vertical

ϕ = faktor reduksi kekuatan, diambil sebesar 0,65.

Berdasarkan RSNI-2002 kuat tekan rencana ϕP_n tidak boleh lebih besar dari 0,85 (kolom dengan tulangan spiral) atau 0,8 (kolom dengan tulangan sengkang pengikat) dari kuat tekan rencana dengan eksentrisitas nol ϕP_o dengan :
 P_n = kekuatan beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan.

Selanjutnya beban aksial nominal tersebut masih harus direduksi lagi dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang tertera dalam RSNI-2002.

Untuk perencanaan lentur kolom harus memenuhi :

$$\Sigma M_e \geq \frac{6}{5} \Sigma M_g \dots\dots\dots (2-42)$$

dengan :

ΣM_e = jumlah momen pada muka join, dengan kuat lentur nominal kolom

ΣM_g = jumlah momen pada muka join, dengan kuat lentur nominal balok

Momen rencana kolom, dapat juga dirumuskan sebagai berikut :

$$M_{u,k} = \frac{h_n}{h} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \phi_o \cdot \alpha_k \cdot \left[\frac{l_{ki}}{\ln k_i} \cdot M_{pr,bki} + \frac{l_{ka}}{\ln k_a} \cdot M_{pr,bka} \right] \dots\dots\dots (2-43)$$

- dengan :
- h = tinggi kolom dari titik pertemuan ke titik pertemuan
 - h_n = tinggi bersih kolom
 - l_{ki} = bentang balok sebelah kiri, diukur dari titik pertemuan ke titik pertemuan
 - l_{nki} = bentang bersih balok sebelah kiri
 - l_{ka} = bentang balok sebelah kanan, diukur dari titik pertemuan ke titik pertemuan
 - l_{nka} = bentang bersih balok sebelah kanan
 - α_k = faktor distribusi momen dari kolom yang ditinjau

M_{npr} = kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan yang terpasang

Gaya aksial rencana ($N_{u,k}$) yang bekerja pada kolom dihitung dari :

$$N_{u,k} = \frac{0,7.R_v.\sum M_{pr,b}}{lb} + 1,05.N_{g,k} \dots\dots\dots (2-44)$$

- dengan :
- $N_{u,k}$ = gaya aksial rencana
 - R_v = faktor reduksi
 - $R_v = 1$ untuk $1 < n \leq 4$
 - $R_v = 1,1 - 0,025.n$ untuk $4 < n \leq 20$
 - $R_v = 0,6$ untuk $n > 20$
 - n = jumlah lantai tingkat di atas kolom yang ditinjau
 - lb = bentang balok, diukur dari pusat join
 - $N_{g,k}$ = beban aksial akibat beban gravitasi terfaktor
 - $N_{E,k}$ = beban aksial akibat beban gempa
 - K = faktor jenis struktur

Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, perhitungan gaya aksial dan momen rencana kolom harus menggunakan kombinasi pembebanan terfaktor antara beban gravitasi dan beban gempa dalam 2 arah tegak lurusnya yaitu 100% dalam satu arah dan 30% arah lain yang tegak lurus terhadap arah tersebut.

Adapun batasan rasio tulangan kolom sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 3.1 halaman 213 adalah tidak kurang dari 0,01 dan tidak lebih dari 0,06

2.7.2. Tulangan Geser

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 4.1 tulangan geser berbentuk persegi sebagai tulangan pengikat dan geser tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh_1} = 0,3 \left(s.h.c. \frac{f'c}{f_yh} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \dots\dots\dots (2-45)$$

$$A_{sh2} = 0,09 \cdot \left(s \cdot hc \cdot \frac{f'c}{f_yh} \right) \dots\dots\dots (2-46)$$

dimana

A_g = luas bruto penampang

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

s = spasi tulangan geser

hc = dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekang

$f'c$ = kuat tekan beton

f_yh = kuat leleh tulangan geser

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 4.2 tulangan geser dipasang sepanjang λ_o dari setiap muka hubungan balok kolom dengan spasi tidak lebih dari pada :

1. $\frac{1}{4}$ dari dimensi terkecil komponen struktur
2. 6 kali diameter tulangan longitudinal

3. $s_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \dots\dots\dots (2-47)$

Nilai s_x tidak perlu besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil daripada 100mm.

h_x adalah spasi maksimum horizontal untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom.

Panjang λ_o sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 4.4 ditentukan tidak kurang daripada :

1. tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur,
2. 1/6 bentang bersih,
3. 500 mm.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23 ayat 4.6 bila tulangan geser tidak dipasang diseluruh panjang kolom maka pada daerah sisanya harus dipasang tulangan spiral atau sengkang tertutup dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih dari nilai terkecil :

1. 6 x diameter tulangan lentur kolom
2. 150 mm

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 5.1 gaya geser rencana ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok kolom pada setiap ujung komponen struktur.

Gaya- gaya tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum M_{pr} dari komponen struktur yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja. Besar gaya geser rencana adalah :

$$V_{u,k} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots (2-48)$$

dengan :

- $V_{u,k}$ = gaya geser rencana kolom
- M_{pr1} = kuat momen lentur 1
- M_{pr2} = kuat momen lentur 2
- H = tinggi kolom

Momen-momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok yang merangka pada hubungan balok kolom. V_u tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada

$$\phi V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots (2-49)$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 13.3 ayat 1.2 komponen struktur yang dibebani tekan aksial berlaku :

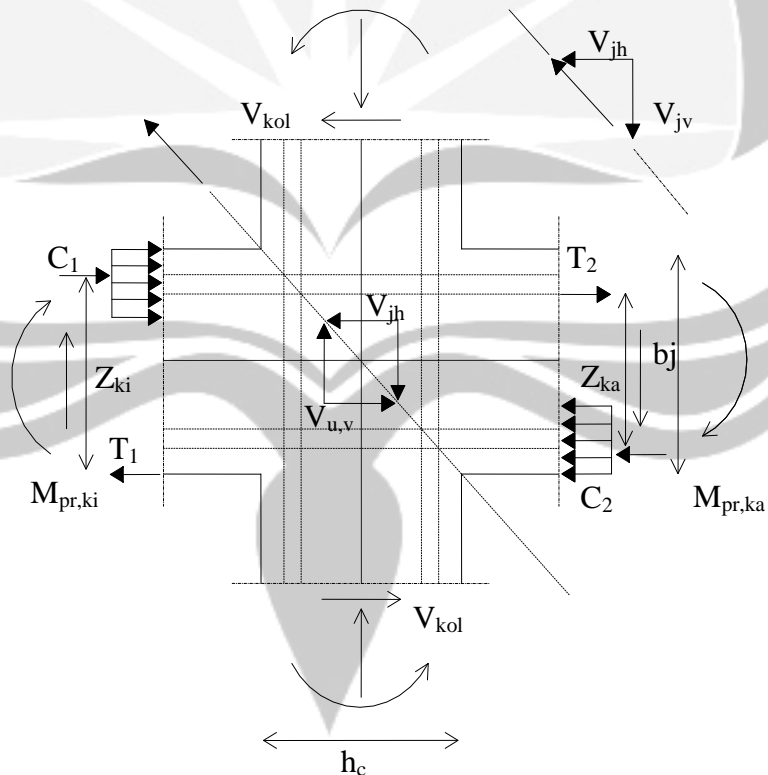
$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w d \dots\dots\dots (2-50)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o) SNI 03-2847-2002 mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g \cdot f_c' \cdot / 20$. Sehingga V_c pada daerah sendi plastis bisa tetap diabaikan ($V_c=0$), hal ini karena meskipun peningkatan gaya aksial meningkatkan nilai V_c , tetapi juga meningkatkan penurunan ketahanan geser (McGregor, 1997, halaman 849)

2.7.3. Hubungan Balok Kolom

Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa egangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25 \cdot f_y$

Perencanaan pertemuan balok kolom harus memenuhi ketentuan yang tercantum pada RSNI 2002. Momen lentur dan gaya geser kolom serta geser horisontal V_{jh} dan geser vertikal V_{jv} yang melewati joint harus dievaluasi dengan analisis rasional yang memperhitungkan seluruh pengaruh dari gaya-gaya yang membentuk keseimbangan pada joint yang ditinjau seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.2. Pertemuan balok kolom

$$V_{j,h} = C_1 + T_2 - V_{kol} \dots\dots\dots (2-51)$$

Perhitungan joint balok :

$$T_1 = C_1 = 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \text{ atas} \dots\dots\dots (2-52)$$

$$T_2 = C_2 = 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \text{ bawah} \dots\dots\dots (2-53)$$

$$V_{kol} = \frac{(M_{pr,bki} + M_{pr,bka})}{(\frac{1}{2} \cdot h_{k,a} + \frac{1}{2} h_{k,b})} \dots\dots\dots (2-54)$$

dengan : $h_{k,a}$ dan $h_{k,b}$ = bentang as ke as kolom di atas dan di bawah joint
 $M_{pr,bki}$ dan $M_{pr,bka}$ = momen kapasitas pada ujung balok

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.5 ayat 3.1 halaman 216, kuat geser nominal hubungan balok kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal :

1. untuk hubungan balok kolom yang terkekang keempat sisinya :

$$1,7 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-55)$$

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

$$1,25 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-56)$$

3. untuk hubungan lainnya :

$$1,0 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j \dots\dots\dots (2-57)$$

$$\phi \cdot V_{jh} < V_n \dots\dots\dots (2-58)$$

dengan : A_j = luas efektif joint
 ϕ = faktor reduksi (0,8)

Untuk ketiga syarat diatas A_j adalah luas efektif hubungan balok kolom.

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.5 ayat 2.2 pada hubungan balok kolom dimana balok-balok, dengan lebar setidaknya-tidaknya sebesar $\frac{3}{4}$ lebar kolom,

merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidaknya jumlahnya sejumlah setengah dari yang ditentukan dalam persamaan 3.58 dan 3.59

Pada daerah tersebut spasi yang digunakan tidak lebih dari pada :

1. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur,
2. 150 mm,
3. $s_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$ (2-59)

s_x tidak perlu lebih besar daripada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm,

h_x adalah spasi maksimum horizontal untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom.

2.8 Perancangan dinding geser

2.8.1 Pendahuluan

Dinding geser diperlakukan sebagai kolom pendek ekuivalen untuk menjamin stabilitas dan kemudahan analisa penampangannya, sehingga penampang dinding geser harus memenuhi ketentuan sebagai berikut;

- a. Jika jarak garis netral lebih dari empat kali lebar sayap penampang dinding geser ($y > 4B$) atau lebih dari 0,3 kali lebar total penampang dinding geser ($y > 0,3L$) maka ditentukan lebar sayap penampang dinding geser lebih dari sepersepuluh jarak bersih tingkat lantai ($B > l_n/10$),

- b. Ketentuan lebar sayap penampang dinding geser tidak perlu ditinjau untuk keadaan sebaliknya,
- c. Jarak garis netral (y) dibatasi sehingga pada saat regangan serat tekan terluar sebesar 0,003 maka regangan pada sisi dalam penampang sayap maksimal sebesar 0,0015.

Penyusunan tulangan dilakukan dengan memberikan sebagian besar tulangan pada tepi penampang dinding geser dan penulangan minimum ($\rho_{min} = 0,25\%$) pada bagian badan dinding geser, dengan tujuan agar dinding geser memiliki momen yang lebih besar dan daktilitas yang lebih baik.

2.8.2 Analisa penampang dinding geser

Analisa penampang dinding geser merupakan prosedur coba coba dengan keserasian regangan, yaitu dengan menentukan tinggi garis netral (y) sebagai harga taksiran pertama sehingga didapat harga eksentrisitas pertama (e_1) untuk dibandingkan dengan eksentrisitas yang diberikan (e). Bila telah terjadi konvergensi ($e_1 \approx e$) nilai ϕP_n dapat dibandingkan dengan gaya aksial yang bekerja (P_u). Jika nilai $\phi P_n < P_u$, maka penulangan perlu diperbesar.

Kuat lentur dinding geser dianalisa seperti pada analisa penampang kolom berdasarkan prinsip keseimbangan gaya dan momen. Distribusi gaya pada tulangan baja ($T_{s,i}$) dihitung untuk tiap tiap lapisan dengan persamaan:

$$T_{s,i} = A_{s,i} \cdot f_{s,i} \dots\dots\dots (2-60)$$

Nilai $A_{s,i}$ adalah luas tulangan pada satu lapisan dan nilai f_{si} adalah tegangan pada tulangan baja yang bersangkutan. Nilai f_{si} tergantung pada regangan yang terjadi ϵ_{si} , yang nilainya adalah:

$$\epsilon_{si} = 0,003 \cdot \frac{d_i - (l - c)}{c} \dots\dots\dots (2-61)$$

sehingga tegangan pada tiap tiap lapisan tulangan baja (f_{si}) dapat ditentukan sebagai berikut:

1) jika $\epsilon_{si} < \frac{f_y}{E}$

$$f_{si} = E_{si} \cdot \epsilon_{si} \dots\dots\dots (2-62)$$

2) jika $\epsilon_{si} \geq \frac{f_y}{E}$

$$f_{si} = f_y \dots\dots\dots (2-63)$$

sumbangan gaya tekan beton C_c pada serat tertekan ditentukan sebagai berikut;

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot B \dots\dots\dots (2-64)$$

Gaya tahanan nominal dinding geser merupakan penjumlahan gaya gaya reaksi dari beton dan baja dengan persamaan;

$$P_n = \sum C_c + \sum T_s \dots\dots\dots (2-65)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot B \cdot 0,5 \cdot (h - a) + \sum C_{si} \cdot (0,5 \cdot h - d_i) \dots\dots\dots (2-66)$$

2.9 Perencanaan pondasi

Daya dukung pondasi *bore pile* mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang.

$$Q_u = q_c \cdot A_{bor} + 0,8 \cdot fs \cdot A_{selimut} \dots\dots\dots (2-67)$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots (2-68)$$

$$q_c = 3 \cdot N_{spt} \dots\dots\dots (2-69)$$

$$fs = \frac{N_{spt.mean}}{25} \dots\dots\dots (2-70)$$

- Dengan: Q_u = Daya dukung ultimit tiang
 Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang
 Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang
 q_p = Tahanan ujung persatuan luas
 A = Luas penampang tiang bor
 P = Keliling panjang tiang
 L = Panjang tiang
 f = Gesekan selimut tiang persatuan luas

Bore pile disatukan dalam satu 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 rumus:

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{V}{P_1 \text{ tiang}} \dots\dots\dots (2-71)$$

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

$$S \geq 2,5D \dots\dots\dots (2-72)$$

$$S \leq 3,0D \dots\dots\dots (2-73)$$

Dengan: S = Jarak antar tiang
 D = Diameter tiang

Perencanaan poer

◆ Kontrol terhadap geser *pons*

$$b_o = \{(c_1 + d) + (c_2 + d)\} \cdot 2 \dots\dots\dots (2-74)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (2-75)$$

$$V_u = Q_u \cdot \{(b \cdot h) - (k + d)(l + d)\} \dots\dots\dots (2-76)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{\sqrt{f'_c \cdot b_o \cdot d}}{6} \dots\dots\dots (2-77)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c \cdot b_o \cdot d} \dots\dots\dots (2-78)$$

Dimana: β_c = Rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$$\phi \cdot V_n = \phi \cdot V_c \dots\dots\dots (2-79)$$

$$V_u < \phi \cdot V_n \dots\dots\dots (2-80)$$

• Kontrol terhadap geser satu arah

$$V_u = Q_u \cdot B \cdot G \dots\dots\dots (2-81)$$

$$G = \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \dots\dots\dots (2-82)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (2-83)$$

$$\phi \cdot V_n = \phi \cdot V_c \dots\dots\dots (2-84)$$

$$V_u < \phi \cdot V_n \dots\dots\dots (2-85)$$

Dengan: V_u = Gaya geser total terfaktor

P_u = Daya dukung tiang

b_o = Penampang kritis

B = Lebar poer

d = tinggi efektif

◆ Kontrol pemindahan beban kolom pada pondasi

$$\phi \cdot P_k > \text{Gaya aksial rencana} \dots\dots\dots (2-86)$$

$$\phi \cdot P_k = 0,7 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot A_{kolom} \dots\dots\dots (2-87)$$

◆ Kontrol beban tiang

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

$$P_{tiang} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2} \dots\dots\dots (2-88)$$

Dengan: P = Beban yang diterima tiang

$\sum V$ = Jumlah total beban normal (vertikal)

n = Jumlah tiang dalam satu poer

M_x = Momen yang bekerja mengelilingi sumbu x

M_y = Momen yang bekerja mengelilingi sumbu y

x = Absis tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

y = Ordinat tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

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

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat ordinat tiang pancang