

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Pembebanan

Beban yang digunakan dalam perancangan adalah kombinasi dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa.

3.1.1. Kuat Perlu

Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban sesuai dengan SNI 2847 dan SNI 1726, berikut kombinasi kuat perlu yang digunakan:

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

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

3.1.2. Kuat Rencana

Kuat rencana dari komponen struktur harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal dengan suatu faktor reduksi kekuatan Φ . Berikut nilai Φ yang digunakan:

Tabel 3.1. Faktor Reduksi Kekuatan

No.	Keterangan	Φ
1.	Lentur tanpa beban aksial (balok)	0,8
2.	Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	0,8
	A. aksial dan aksial tarik dengan lentur (balok)	
	B. aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur (kolom)	0,7
	a. dengan spiral	0,65
	b. dengan sengkang	
3.	Geser dan Torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65

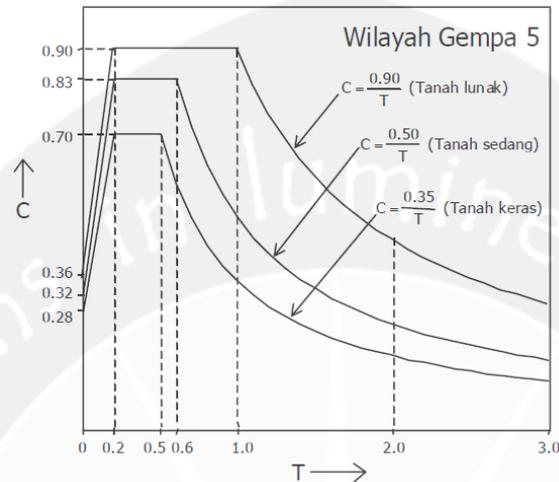
(Dikutip dari SNI 2847 Pasal 11.3)

3.2. Wilayah dan Analisis Gempa

3.2.1. Wilayah Gempa

Wilayah gempa yang digunakan untuk perancangan gedung ini adalah wilayah gempa 5. Wilayah gempa 5 termasuk wilayah dengan resiko gempa tinggi. Bangunan dengan resiko gempa yang tinggi perlu dirancang dengan syarat SRPMK serta menggunakan dinding struktur bila diperlukan. Pasal SNI 1726 yang digunakan adalah:

1. Pasal 23.4 sampai dengan pasal 23.7 (syarat khusus SRPMK),
2. Pasal 3-20 juga tetap berlaku.



(Sumber SNI 1726 Pasal 4.7.6)

Gambar 3.1. Respons Spektrum Gempa Rencana

3.2.2. Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Nilai waktu getar alami fundamental (T_1) struktur gedung dibatasi sesuai dengan koefisien ζ dan jumlah lantainya sesuai SNI 1726 pasal 5.6, hal ini dimaksudkan untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel.

$$T_1 < \zeta n$$

Notasi: ζ = koefisien pengali yang bergantung pada wilayah gempa,
 n = jumlah lantai struktur gedung.

Tabel 3.2. Koefisien ζ Berdasarkan Wilayah Gempa

WG	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

(Dikutip dari SNI 1726 Pasal 5.6)

3.2.3. Beban Gempa Statik Ekuivalen

Menurut SNI 1726 pasal 7.1.3) beban geser nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar (untuk struktur gedung beraturan) dihitung menurut persamaan:

$$V_I = \frac{C_1 \times I}{R} \times W_t \quad (3-19)$$

Notasi: C_1 = nilai faktor respons gempa,
 I = faktor keutamaan gedung,
 R = faktor reduksi gempa,
 W_t = berat total struktur gedung,
 V_I = beban gempa horizontal.

3.2.4. Analisis T Rayleigh

$$T_{rayleigh} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \quad (3-20)$$

Besarnya T yang didapat dari analisis vibrasi tiga dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% hasil $T_{rayleigh}$ seperti tertulis pada SNI 1726 Pasal 6.2.1.

Notasi: W_i = berat bangunan,
 F_i = gaya akibat gempa,
 g = gaya gravitasi,
 d_i = simpangan horisontal lantai.

3.3. Kinerja Struktur Gedung

3.3.1. Kinerja Batas Layan

Menurut Rachmat Purwono (2005), kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat atau drift akibat pengaruh gempa rencana. Menurut SNI 1726 pasal 8.1, kinerja batas layan diperiksa agar membatasi

terjadinya pelepasan baja dan peretakan beton yang berlebihan dan mencegah kerusakan non-struktural dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar tingkat / *drift* (Δs) tersebut tidak boleh melampaui $0,03/R$ dikali tinggi tingkat yang bersangkutan (h_i), atau diambil 30 mm bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

$$\Delta s < (0,03h_i) / R \quad (3-21)$$

$$\Delta s < 30 \text{ mm} \quad (3-22)$$

3.3.2. Kinerja Batas Ultimit

Sesuai dengan SNI 1726 Pasal 8.2.2 kinerja batas ultimit ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Pembatasan ini bertujuan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung (Rachmat P., 2005).

$$\zeta \Delta s < 0,02 h_i \quad (3-23)$$

$$\zeta = 0,7 R \text{ untuk gedung beraturan dan}$$

$$\zeta = 0,7 R/\text{faktor skala untuk gedung tidak beraturan}$$

3.4. Perencanaan Struktur

Struktur yang akan dirancang adalah struktur atas, meliputi: pelat, balok, kolom, dan tangga. Untuk komponen lentur harus memenuhi SNI 2847 Pasal 23.3. agar penampang terbukti berkinerja baik. Tiap komponen harus cukup daktail dan cukup efisien mentransfer momen ke kolom. Perlu dicatat, untuk kolom-kolom

yang terkena momen dan hanya terkena beban aksial terfaktor lebih kecil dari $A_g f_c' / 10$ boleh didesain sebagai komponen lentur. Untuk penulangan lentur, dalam persyaratan sedikitnya harus ada 2 batang tulangan menerus disisi atas maupun bawah balok untuk keperluan pelaksanaan.

Menurut Rachmat Purwono (2005), sambungan lewatan harus diletakkan diluar sendi plastis. Bila digunakan sambungan lewatan, maka sambungan itu harus didesain sebagai sambungan lewatan Tarik dan harus dikekang sebaik-baiknya. Bila digunakan tulangan pengekang, pengekangan yang cukup disyaratkan harus ada diujung-ujung komponen lentur yang kemungkinan besar akan terjadi sendi plastis untuk menjamin kemampuan daktilitasnya bila terkena beban bolak balik. Tulangan transversal perlu dipasang pula untuk menahan gaya melintang dan menghindarkan tulangan memanjang menekuk.

Komponen yang terkena beban lentur dan aksil harus memiliki prinsip "*capacity design*" yaitu kolom harus diberi cukup kekuatan sehingga kolom-kolom tidak leleh lebih dahulu sebelum balok. Goyangan lateral memungkinkan terjadinya sendi plastis diujung-ujung kolom yang menyebabkan kerusakan berat. (Rachmat P., 2005)

3.4.1. Perencanaan Pelat

1. Penentuan Jenis Pelat

Pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat satu arah dan dua arah.

Pelat satu arah adalah pelat dengan tulangan pokok satu arah, akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah

pada pelat kantilever dan pelat yang ditumpu oleh dua tumpuan. Kelebihan pelat satu arah dibanding dengan pelat dua arah adalah kemudahan kontrol dilapangan untuk pelat satu arah karena dapat terlihat tulangan utama pada bentang pendek dan tulangan susut pada bentang panjang. Berikut adalah beberapa perbedaan dari pelat satu arah dan dua arah:

- 1) Pelat satu arah (pelat yang didukung pada kedua tepi berhadapan):
 - a. Pelat dianggap lebar 1 meter dan dapat dianggap sebagai balok dengan lebar 1 meter.
 - b. Tulangan utama/pokok dipasang menerus sampai kedua tumpuan.
 - c. Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus tulangan utama/pokok (untuk memperkuat kedudukan tulangan pokok serta penahan retak beton akibat susut dan perbedaan suhu beton, dan meratakan pembagian beban).
 - d. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja.
- 2) Pelat dua arah (pelat yang didukung pada keempat tepinya):
 - a. Arah sisi pendek diberi notasi L_x dan arah panjang diberi notasi L_y .
 - b. Tulangan utama/pokok dipasang pada arah L_x maupun L_y , masing-masing menerus sampai ke tumpuan.
 - c. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja.
 - d. Khusus untuk pelat dua arah hitungan dapat disederhanakan sbb:
Bila $L_y/L_x < 2$ menggunakan tabel,
Bila $L_y/L_x \geq 2$ terdapat 2 macam cara hitungan, yaitu:

- a) Sebagai struktur pelat 2 arah.
- b) Dianggap sebagai struktur pelat satu arah dengan lenturan utama pada arah sisi yang terpendek.

2. Pelat Satu Arah

- 1) Tinggi minimum pelat

Tabel 3.3. Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen Struktur	Tebal minimum h			
	Terdukung sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi lain atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masih satu arah	$L/20$	$L/24$	$L/28$	$L/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$L/16$	$L/18,5$	$L/21$	$L/8$

(Dikutip dari SNI 2847 Pasal 11.5)

Catatan: L = panjang bentang dalam mm
 Nilai dalam tabel harus digunakan langsung untuk beton normal dan tulangan BJTD 40 ($f_y = 400$ MPa)
 Untuk nilai f_y selain 400 MPa, nilai dalam tabel dikalikan dengan faktor $(0,4 + f_y/700)$

- 2) Tulangan pokok dan susut pelat satu arah
 - (1) Tulangan lentur/utama hanya terpasang dalam satu arah saja.
 - (2) Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus tulangan lenturnya.
 - (3) Syarat luas tulangan susut dan suhu maupun tulangan utama sbb:
 - a. Tulangan $f_y = 300$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0020 bh$
 - b. Tulangan $f_y = 400$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018 bh$
 - c. Tulangan $f_y > 400$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018(400/f_y) bh \geq 0,0014 bh$

3) Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu

- a. Tulangan utama/pokok, spasi dipilih nilai yang paling kecil dari

syarat sbb:

$$s \leq 3h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

- b. Tulangan susut dan suhu, spasi dipilih nilai yang terkecil dari

syarat sbb:

$$s \leq 5h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

3.4.2. Perencanaan Balok

1. Menghitung Dimensi dan Momen Balok

Tahapan perencanaan balok yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut (McCormac dan Nilson,2010):

- a. Tentukan f'_c dan f_y (digunakan $f'_c = 25\text{MPa}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$)
- b. Taksir $\rho \approx 0,5 \rho_{maks}$
- c. Hitung nilai R_n

$$R_n = \rho f_y \left(1 - 0,59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right) \quad (3-24)$$

dengan: R_n = koefisien tahanan,
 ρ = rasio tulangan baja,
 f'_c = kuat tekan beton,
 f_y = tegangan luluh baja.

- d. Hitung momen akibat beban terfaktor, M_u , ditaksir momen akibat berat

sendiri balok 15% dari momen beban total balok (MacGregor,2005).

- e. Tentukan kombinasi b_w dan d dari persamaan:

$$d = \sqrt{\frac{M_u \text{ total}}{0,80R_n b_w}} \quad (3-25)$$

dengan: b_w = lebar penampang balok,
 d = tinggi efektif balok.

f. Menentukan nilai h (tinggi balok) dibulatkan ke atas kelipatan 50 mm

dengan memperhatikan:

- a) Tinggi balok minimum yang disyaratkan agar lendutan tidak perlu diperiksa.
- b) Bila $h_{\text{aktual}} < h_{\text{min}}$, maka lendutan perlu diperiksa (Tabel 8.SNI 2847).
- c) $b_w / h \geq 0,3$ (SNI 2847 Pasal 23.3)
- d) $b_w \geq 250\text{mm}$ (SNI 2847 Pasal 23.3)
- g. Hitung kembali M_u dengan memasukan berat sendiri balok, diperoleh $M_{u,\text{baru}}$.
- h. Penentuan tulangan lentur tumpuan dan lapangan.
- i. Penentuan tulangan geser.

2. Penulangan Longitudinal Balok

Pada estimasi tulangan balok, $M_{u,\text{baru}}$ yang telah diperoleh dari hitungan sebelumnya digunakan untuk menghitung $R_{n,\text{perlu}}$. Untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai $M_u = M_n$. Sesuai dengan SNI 2847 pasal 23.3.2).(2). bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya berarti untuk momen pada daerah desak tumpuan diambil nilai $M_u = 0,5 M_{u,\text{baru}}$. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang sepanjang bentang tidak

boleh lebih kurang dari seperempat kuat lentur terbesar, berarti daerah tarik maupun desak lapangan diambil nilai $M_u = 0,25 M_{u,baru}$.

Setelah M_u diketahui, kemudian dicari nilai $R_{n,perlu}$ dan ρ dengan rumus:

$$R_{n,perlu} = \frac{M_u}{0,80bd^2} \quad (3-26)$$

ρ diambil nilai terbesar dari antara ρ_{perlu} dan ρ_{min}

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f'_c}} \right) \quad (3-27)$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4.f_y} \text{ atau } \frac{1,4}{f_y} \quad (3-28)$$

Khusus untuk balok induk $\rho \leq 0,025$ (SNI 2847 Pasal 23.3)

Setelah didapat ρ , dicari luas tulangan baja (A_s) yang diperlukan:

$$A_s = \rho b d \quad (3-29)$$

A_s yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung jumlah tulangan dengan pembulatan ke atas, jumlah tulangan = A_s /luas satu buah tulangan.

Kemudian periksa syarat $\Phi M_n \geq M_u$.

$$\Phi M_n = \Phi A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b_w} \right) \quad (3-30)$$

Penggunaan balok tulangan rangkap lebih aman daripada balok tulangan tunggal karena balok tulangan rangkap dapat mengurangi lendutan atau defleksi jangka panjang akibat rangkat dan susut, meningkatkan daktilitas penampang, mengubah keruntuhan tekan menjadi keruntuhan tarik,

memudahkan pelaksanaan, serta dapat meningkatkan kuat momen nominal balok.

3. Penulangan Transversal Balok

Langkah awal dalam menentukan tulangan geser balok adalah mencari gaya geser akibat gempa (V_e). SNI 2847 menyatakan bahwa gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen – momen dengan tanda berlawanan 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.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan dapat dihitung dengan:

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s 1,25 f_y}{f'_c b_w} \right) \quad (3-31)$$

dengan: M_{pr} = kuat lentur maksimum tulangan,

A_s = luas tulangan baja yang digunakan

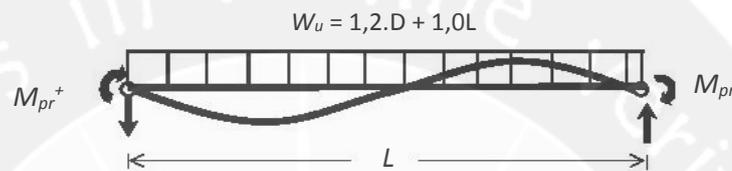
M_{pr}^- ditinjau dari daerah tumpuan yang mengalami tarik (tulangan pokok atas) dan M_{pr}^+ ditinjau dari bagian yang mengalami desak (tulangan pokok bawah). Setelah didapat M_{pr}^- dan M_{pr}^+ , kemudian gaya geser akibat gempa (V_g) dihitung dengan cara:

$$V_g = \frac{W_u L}{2} \quad (3-32)$$

Gaya geser akibat gempa dihitung dengan:

$$V_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{L} \pm V_g \quad (3-33)$$

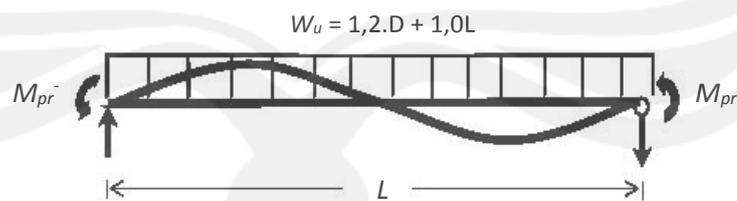
Jika beban gempa dianggap datang dari arah kiri ke kanan:



Gambar 3.2. Superposisi Gaya Geser Akibat Gempa dari Arah Kiri dan Beban Gravitasi

$$V_{e \text{ kiri}} = \left(\frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L} \right) - V_g \quad V_{e \text{ kanan}} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L} + V_g$$

Jika beban gempa dianggap datang dari arah kanan ke kiri:



Gambar 3.3. Superposisi Gaya Geser Akibat Gempa dari Arah Kanan dan Beban Gravitasi

$$V_{e \text{ kiri}} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L} + V_g \quad V_{e \text{ kanan}} = \left(\frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L} \right) - V_g$$

Setelah V_e dihitung, didapat dua nilai V_e (V_e kiri dan V_e kanan tergantung dari arah gempa) kemudian diambil dicari V_e untuk daerah plastis dan diluar sendi plastis. Daerah sendi plastis sepanjang dua kali tinggi balok yang ditinjau, dihitung dari ujung kanan / kiri balok.

Dalam SNI 2847 pasal 23.3.4).(2), dikatakan bahwa, pada daerah sendi plastis, kontribusi geser dari beton $V_c = 0$ apabila:

- 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 lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$.

Jika kontribusi geser dari beton $V_c \neq 0$ SNI 2847 pasal 13.3.1).(1) menetapkan kuat geser beton untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur sebagai berikut.

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-34)$$

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.

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-35)$$

Kuat geser V_s tidak boleh lebih dari V_s maksimum yang dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_{s \text{ maks}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-36)$$

Spasi tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang tercantum pada SNI 2847, pasal 13.5.6).(2)

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (3-37)$$

Menurut SNI 2847 pasal 23.3.3).(2), sengkang penutup pertama harus dipasang tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) $d/4$, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.

Sedangkan batas spasi tulangan geser pada daerah di luar sendi plastis menurut SNI 2847 pasal 13.5.4).(1), pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur.

3.4.3. Perencanaan Kolom

1. Dimensi Kolom

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban tersebut meliputi beban mati dan hidup balok, pelat, serta berat dari lantai di atas kolom tersebut. Pedoman yang digunakan sesuai dengan SNI 2847 pasal 12.3.5) yaitu rumus untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang :

$$P_n = 0,80 A_g \{0,85 f'_c (1 - \rho_g) + f_y \rho_g\} \quad (3-38)$$

dengan : ρ_g = luas tulangan,
 A_g = luas bruto kolom ($b \times h$),
 f'_c = kuat desak beton,
 f_y = tegangan leleh baja.

2. Kelangsingan Kolom

Kontrol kelangsingan kolom untuk rangka portal bergoyang, sesuai dengan SNI 2847 pasal 12.13.2) untuk komponen struktur yang tidak ditahan terhadap goyangan samping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan apabila:

$$\frac{k.l_u}{r} < 22 \quad (3-39)$$

dengan: k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan,
 r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan,
 l_u = panjang bersih komponen struktur tekan.

3. Kuat Lentur

Kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk melawan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Kolom-kolom selalu didesain 20% lebih kuat dari balok-balok di suatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Pada SNI 2847, pasal 23.4 diharuskan bahwa kuat lentur untuk kolom harus memenuhi persamaan:

$$\Sigma M_e \geq \frac{6}{5} \Sigma M_g \quad (3-40)$$

dengan:

ΣM_e = 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-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang kecil,

ΣM_g = jumlah momen pada pusat hubungan balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok yang merangkai pada hubungan balok kolom tersebut.

4. Gaya Geser Rencana

Berdasar SNI 2847 pasal 23.4.5).(1), gaya geser rencana (V_e) untuk menentukan keperluan 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 2847 pasal 13.1.1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan seperti berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-41)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-42)$$

dengan V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton.

Sesuai SNI 2847 pasal 13.3.1).(2), kuat geser disumbang oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14.A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (3-43)$$

dan

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-44)$$

dengan: A_v = luas tulangan geser,

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser,

A_g = luas bruto penampang kolom,

N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi,

b_w = lebar balok,

f_y = tegangan leleh yang baja,

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan,

5. Tulangan Transversal Kolom

Ujung-ujung kolom perlu cukup pengekanan untuk menjamin daktilitasnya bila terjadi pembentukan sendi plastis. Perlu juga tulangan transversal untuk mencegah pertama kegagalan geser sebelum penampang mencapai kapasitas lentur dan kedua tulangan menekuk. Peraturan menentukan jumlah, jarak, dan lokasi tulangan transversal ini, sehingga kebutuhan tulangan pengekanan, kuat geser, dan tekuk dipenuhi. Pada SNI 2847 pasal 23.4.4).(1).b), luas penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sebagai berikut ini.

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \left(s \cdot h_c \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \quad (3-45)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left(s \cdot h_c \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \quad (3-46)$$

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 pengekan,

s = spasi tulangan transversal,

f_{yh} = tegangan leleh baja tulangan transversal,

f'_c = kuat tekan beton.

Batasan spasi tulangan transversal yang dipasang sepanjang l_o (panjang minimum dimana harus disediakan tulangan transversal yang dihitung dari muka join sepanjang kolom) diperoleh dalam SNI 2847 pasal 23.4.4).(2) yaitu sepanjang:

- a. satu per empat dimensi terkecil kolom,
- b. enam kali diameter tulangan longitudinal,

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

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 2847 pasal 23.4.4).(4), harus dipasang sepanjang l_o dengan panjang tidak kurang dari:

- a. tinggi penampang kolom pada muka hubungan balok-kolom,
- b. seperenam bentang bersih komponen struktur,
- c. 500 mm.

Untuk daerah diluar l_o juga dipasang tulangan geser, spasi yang disarankan sesuai SNI 2847 pasal 23.4.4).(6) tidak lebih kecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

6. Hubungan Balok-Kolom

Menurut Rachmat Purwono (2005), integritas menyeluruh SRPM sangat bergantung pada perilaku hubungan balok-kolom. Degradasi pada hubungan balok-kolom akan menghasilkan deformasi lateral besar yang

dapat menyebabkan kerusakan berlebihan atau bahkan keruntuhan. Penulangan memanjang harus menerus menembus hubungan balok-kolom dan dijangkar sebagai batang Tarik atau tekan dengan panjang penyaluran sesuai SNI 2847 Pasal 23.5.4 dalam suatu inti kolom terkekang. Persyaratan ukuran minimum di Pasal 23.5.1.4 mengurangi kemungkinan kegagalan dan kehilangan lekatan pada waktu terjadi beban berbalik diatas tegangan leleh tulangan.

Faktor paling berarti dalam menentukan kuat geser nominal hubungan balok-kolom adalah luas efektif dari hubungan balok kolom. Untuk hubungan balok-kolom yang dikekang oleh balok di keempat sisinya, maka kapasitas atau kuat geser nominal hubungan balok-kolom sesuai SNI Pasal 23.5.3 adalah sebesar $1,7.A_j. \sqrt{f'_c}$. Untuk hubungan yang terkekang di ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan, maka kapasitasnya hanya $1,25.A_j. \sqrt{f'_c}$. Bila kapasitas geser hubungan balok-kolom kurang besar maka hanya kekuatan beton dan ukuran komponen yang dapat dimodifikasi.

Pemasangan tulangan transversal pada hubungan balok-kolom bertujuan memberikan pengekangan pada beton untuk menjamin tetap berperilaku daktail dan tetap dapat mempertahankan kapasitas pemikul beban, meskipun kulit beton telah mengelupas. Makin besar gaya tarik di tulangan, akan makin besar pula gaya geser horisontal di hubungan balok-kolom. Lebih aman bila gaya tarik diambil sebesar $1,25. \sqrt{f'_c} .A_s$, yang

sudah memperhitungkan kemungkinan tegangan tulangan lebih dari f_y dan memasuki fase *strain hardening* (Rachmat Purwono,2005).

3.4.4. Perencanaan Tangga

Untuk perhitungan tangga dimodelkan dimana ujung perletakan pada pelat dianggap sebagai sendi dan perletakan bordes dianggap rol dengan anggapan tangga merupakan unsur sekunder yang tidak mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan.

