

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Pembebanan

Beban yang digunakan dalam perancangan gedung ini dibatasi dengan mempertimbangkan kombinasi dari empat jenis beban, antara lain beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin.

3.1.1 Kuat perlu

Kuat perlu dari elemen struktur harus dirancang sama atau melebihi beban terfaktor yang bekerja. Berdasarkan SNI 1727:2013, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019, kombinasi kuat perlu yang digunakan adalah:

Beban Mati

$$1,4 D \quad (3-1)$$

Beban Hidup

$$1,2 D + 1,6 L \quad (3-2)$$

Beban Gempa

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey + 1,0 L \quad (3-3)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey + 1,0 L \quad (3-4)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey + 1,0 L \quad (3-5)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey + 1,0 L \quad (3-6)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey + 1,0 L \quad (3-7)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey + 1,0 L \quad (3-8)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey + 1,0 L \quad (3- 9)$$

$$(1,2 D + 0,2 SDS) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey + 1,0 L \quad (3- 10)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D + \rho Ex + 0,3 \rho Ey \quad (3- 11)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D + \rho Ex - 0,3 \rho Ey \quad (3- 12)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D - \rho Ex + 0,3 \rho Ey \quad (3- 13)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D - \rho Ex - 0,3 \rho Ey \quad (3- 14)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D + 0,3 \rho Ex + \rho Ey \quad (3- 15)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3- 16)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey \quad (3- 17)$$

$$(0,9 - 0,2 SDS) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3- 18)$$

Beban Angin

$$1,2 D + 1,0 W + L \quad (3- 19)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (3- 20)$$

3.2 Perencanaan Beban Gempa

3.2.1 Metode analisis beban gempa

Syarat analisis gempa yang diizinkan dicantumkan dalam SNI 1726 Tabel 16 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Prosedur analisis yang diizinkan

| Kategori desain seismik | Karakteristik struktur | Analisis gaya lateral ekuivalen | Analisis spektrum respons ragam | Prosedur respons Riwayat waktu seismik |
|-------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--|
| B, C | Semua struktur | I | I | I |
| D, E, F | Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat di atas dasar | I | I | I |
| | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$ | I | I | I |
| | Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$ | I | I | I |
| | Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2, 3, 4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b | I | I | I |
| | Semua struktur lainnya | TI | I | I |

Catatan I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

3.2.2 Kategori risiko struktur bangunan

Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa didefinisikan berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2.

3.2.3 Faktor keutamaan gempa

Sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan non gedung pada tabel berikut, pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa

I_e .

Tabel 3. 2 Faktor keutamaan gempa

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, I_e |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

3.2.4 Kelas situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3 ditetapkan kelas situs sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 3. 3 Klasifikasi situs

| Kelas Situs | V_s (m/detik) | N atau N_{ch} | S_u (kPa) |
|--|---|-------------------|---------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | > 50 | ≥ 100 |
| SD (tanah sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (tanah lunak) | < 175 | < 15 | < 50 |
| | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, 20, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> – Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah – Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$m) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa | | |

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 6.1.2, parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_l (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 15 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Nilai parameter percepatan terpetakan ini dibantu dengan program Spektrum Respons Desain Indonesia 2019 atau dapat diakses melalui website <http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id>.

3.2.5 Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCER)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 6 dan Tabel 7, ditentukan koefisien situs, F_a dan F_v sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Koefisien situs, F_a

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_s | | | | | |
|-------------|---|-------------|--------------|-------------|-----------------|----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ | $S_s \geq 1,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| SC | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SE | 2,4 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 0,8 |
| SF | $SS^{(a)}$ | | | | | |

Catatan:

(a) S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3. 5 Koefisien situs, F_v

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_I | | | | | |
|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| | $S_I \leq$ 0,1 | $S_I =$ 0,2 | $S_I =$ 0,3 | $S_I =$ 0,4 | $S_I =$ 0,5 | $S_I \geq$ 0,6 |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SC | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| SD | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 |
| SE | 4,2 | 3,3 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |
| SF | $SS^{(a)}$ | | | | | |

Catatan:

(a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Parameter respon spektral ditentukan dengan rumus berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3- 21)$$

$$S_{MI} = F_a S_I \quad (3- 22)$$

3.2.6 Parameter percepatan spektral desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{DI} , harus ditentukan melalui perumusan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3- 23)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3- 24)$$

3.2.7 Katerogi desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di

mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 3. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

| Nilai S_{DS} | Kategori Risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$ | C | D |
| $0,50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Tabel 3. 7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

| Nilai S_{D1} | Kategori Risiko | |
|-----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{DS} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{DS} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{DS}$ | D | D |

3.2.8 Struktur penahan beban gempa

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 dikatakan bahwa sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur.

3.2.9 Prosedur gaya lateral ekivalen

3.2.9.1 Periode fundamental pendekatan

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1, periode fundamental pendekatan dalam detik ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-25)$$

Nilai parameter C_t dan x ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 3. 8 Nilai parameter perioda pendekata C_t dan x

| Tipe struktur | C_t | x |
|--|--------|------|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari difleksi jika dikenai gaya seismic: | | |
| • Rangka baja pemikul momen | 0,0724 | 0,8 |
| • Rangka beton pemikul momen | 0,0466 | 0,9 |
| Rangka baja dengan bresing eksentris | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 | 0,75 |

Koefisien batas atas dari perioda fundamental pendekatan diambil menurut tabel berikut

Tabel 3. 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

| Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1} | Koefisien C_u |
|---|-----------------|
| $\geq 0,4$ | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

3.2.9.2 Perhitungan koefisien respon seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, koefisien respon seismik, C_s harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-26)$$

Nilai C_s pada persamaan 3.24 tidak perlu melebihi nilai dari persamaan berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-27)$$

Nilai C_s yang dihitung pada persamaan 3,24 harus tidak kurang dari nilai persamaan berikut.

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3-28)$$

3.2.9.3 Gaya geser seismik

Gaya geser seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$V = C_s W \quad (3-29)$$

3.2.9.4 Distribusi vertikal gaya gempa

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, gaya seismic lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx}V \quad (3-30)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-31)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau

ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.2.10 Pengecekan ketidakberaturan struktur

3.2.10.1 Ketidakberaturan horizontal

Menurut SNI1726:2019 Pasal 7.3.2.1, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel berikut harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal.

Tabel 3. 10 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan |
|-----|---|
| 1a. | Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. |
| 1b. | Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ad ajika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. |
| 2. | Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. |
| 3. | Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. |
| 4. | Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan terhadap gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. |
| 5. | Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ad ajika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. |

3.2.10.2 Ketidakberaturan Vertikal

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.2, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel berikut harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal.

Tabel 3. 11 Ketidakberaturan vertikal

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan |
|-----|--|
| 1a. | Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. |
| 1b. | Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. |
| 2. | Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ad ajika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. |
| 3. | Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ad ajika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat didekatnya. |
| 4. | Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya |
| 5a. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. |
| 5b. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. |

3.2.10.3 Batasan dan persyaratan tambahan untuk sistem dalam ketidakberaturan struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.1, Struktur dengan kategori desain seismik E atau F dan memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1b atau ketidakberaturan vertikal Tipe 1b, 5a, atau 5b tidak diizinkan. Struktur yang didesain untuk kategori desain seismic D dan memiliki ketidakberaturan vertikal Tipe 5b tidak diizinkan.

3.2.11 Redundansi

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4, faktor redundansi, ρ , harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.1, Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

1. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta.
3. Desain komponen nonstruktural.
4. Desain struktur nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih.
6. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih.

7. Beban diafragma yang ditentukan termasuk batasan yang diisyaratkan.
8. Desain struktur dengan sistem peredam.
9. Desain dinding structural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Berdasarkan SNI 1726:2019, Pasal 7.3.4.2, untuk struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismik desain E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 3.14.
2. Struktur dengan denah beaturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi ringan.

Tabel 3. 12 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

| Elemen pemikul gaya lateral | Persyaratan |
|-----------------------------|---|
| Rangka dengan bresing | Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b) |
| Rangka pemikul momen | Kehilangan tahanan momen di sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33%, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b) |
| | Penghilangan suatu dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di sebarang tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b) |
| | Kehilangan suatu tahanan momen di sambungan dasar pada sebarang kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b) |
| Lainnya | Tidak ada persyaratan |

3.2.12 Simpangan antar tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat.

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3-32)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

Batasan simpangan antar tingkat dituliskan dalam SNI 1726:2019 Tabel 20 sebagai berikut.

Tabel 3. 13 Simpangan antar tingkat izin,

| Struktur | Kategori risiko | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat | $0,025h_{sx}$ | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya | $0,020h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |

3.2.13 Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3-33)$$

Keterangan:

P_x = beban dinamik vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x, (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{maz} yang ditentukan sebagai berikut.

$$\theta_{maz} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3-34)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

3.3 Perencanaan Beban Angin

3.3.1 Faktor arah angin

Berdasarkan SNI 1727:2013 Pasal 26.6, faktor arah angin K_d harus ditentukan berdasarkan berikut.

Tabel 3. 14 Faktor arah angin

| Tipe Struktur | Faktor Arah Angin K_d^* |
|---|---|
| Bangunan Gedung | |
| Sistem Penahan Beban Angin Utama | 0,85 |
| Komponen dan Klading Bangunan Gedung | 0,85 |
| Atap Lengkung | 0,85 |
| Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama | |
| Segi empat | 0,90 |
| Segi enam | 0,95 |
| Bundar | 0,95 |
| Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat | 0,85 |
| Papan reklame terbuka dan kerangka kisi | 0,85 |
| Rangka batang Menara | |
| Segi tiga, segi empat, persegi panjang | 0,85 |
| Penampang lainnya | 0,95 |

3.3.2 Kategori Eksposur

Menurut SNI 1727:2013 Pasalh 26.7.3, kategori eksposur dikelompokkan berdasarkan hal berikut.

Eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 *ft* (9,1 m). Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 *ft* (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 *ft* (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 *ft* (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.

Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 *ft* (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 *ft* (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

3.3.3 Faktor tiupan angin

Berdasarkan SNI 1727:2013 Pasal 26.9.1, faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

3.4 Perencanaan Struktur Atas Beton Bertulang

3.4.1 Kuat desain

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2, kekuatan desain dari suatu komponen struktur harus direduksi dengan mengalikan faktor reduksi kekuatan sesuai tabel berikut.

Tabel 3. 15 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

| Regangan tarik netto (ϵ_t) | Klasifikasi | ϕ | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|----|--|----|
| | | Jenis tulangan transversal | | | |
| | | Spiral | | Tulangan lainnya | |
| $\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$ | Tekanan terkontrol | 0,75 | a) | 0,65 | b) |
| $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$ | Transisi ^[1] | $0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$ | c) | $0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$ | d) |
| $\epsilon_t \geq 0,005$ | Tegangan terkontrol | 0,90 | e) | 0,90 | f) |

^[1] Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan

Desain penampang yang dikenai lentur harus didasarkan pada:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (3-35)$$

Desain penampang yang dikenai tekan harus didasarkan pada:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (3-36)$$

Desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-37)$$

3.4.2 Perencanaan pelat

3.4.2.1 Ketebalan minimum pelat satu arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 7.3.1.1, untuk pelat solid nonprategang yang tidak tertumpu atau melekap pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada tabel berikut, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan terpenuhi.

Tabel 3. 16 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

| Kondisi tumpuan | $h^{[1]}$ Minimum |
|---------------------|-------------------|
| Tumpuan sederhana | $l/20$ |
| Satu ujung menerus | $l/24$ |
| Kedua ujung menerus | $l/28$ |
| Kantilever | $l/10$ |

^[1]Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi.

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 7.3.1.1.1, untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 3.14 harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 7.3.1.1.2, untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m^3 , persamaan pada Tabel 3.14 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:

1. $1,65 - 0,0003w_c$
2. 1,09

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 7.3.1.1.3, untuk pelat komposit nonprategang yang terbuat dari kombinasi beton ringan dan normal, ditopang saat konstruksi, dan ketika beton ringan berada dalam keadaan tertekan, koefisien modifikasi yang berdasarkan pada Pasal 7.3.1.1.2 harus digunakan.

3.4.2.2 Ketebalan minimum pelat dua arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1, untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada tabel 3.15, dan memiliki nilai terkecil antara a) atau b).

1. Pelat tanpa drop panel: 125 mm
2. Pelat dengan drop panel: 100 mm

Tabel 3. 17 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)^[1]

| f_y , MPa ^[2] | Tanpa drop panel ^[3] | | Dengan drop panel ^[3] | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | | Panel interior |
| | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | | Tanpa balok tepi | Dengan balok tepi ^[4] | |
| 280 | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ | $l_n/40$ | $l_n/40$ |
| 420 | $l_n/30$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/33$ | $l_n/36$ | $l_n/36$ |
| 520 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |

^[1] l_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

^[2]Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear

^[3]Drop panel sesuai SNI 2847:2019 Pasal 8.2.4

^[4]Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai SNI 2847:2019 Pasal 8.10.2.7

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada tabel berikut.

Tabel 3. 18 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

| $\alpha_{fm}^{[1]}$ | h minimum, mm | | |
|------------------------------|-------------------|--|------------------------|
| $\alpha_{fm} \leq 0,2$ | 3.4.2.2 berlaku | | (a) |
| $0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$ | Terbesar dari: | $\frac{l_n (0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$ | (b) ^{[2],[3]} |
| | | 125 | (c) |
| $\alpha_{fm} > 2,0$ | Terbesar dari: | $\frac{l_n (0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$ | (d) ^{[2],[3]} |
| | | 90 | (e) |

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 8.3.1.2.1, Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai Tabel 3.18, harus disediakan balok tepi dengan $\alpha_f \geq 0,80$, atau ketebalan minimum harus memenuhi (b) atau (d) pada tabel 3.18 dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

3.4.2.3 Tulangan pokok pelat

Dalam menentukan penulangan pokok pelat lantai, diawali dengan persamaan koefisien kapasitas penampang berikut.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (3-38)$$

Koefisien kapasitas digunakan untuk menentukan nilai rasio luas tulangan terhadap luas penampang beton yang dirumuskan. (McCormac 2009)

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f'c}}\right) \quad (3-39)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1, nilai rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

Nilai luasan tulangan pokok yang dibutuhkan pelat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-40)$$

Dengan $A_{smin} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$, dan ρ_{min} diambil senilai rasio luas tulangan susut dan suhu terhadap luas penampang beton.

3.4.2.4 Tulangan susut dan suhu pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 24.4.3.2, rasio luasan tulangan ulir susut dan suhu terhadap luas penampang beton bruto harus memenuhi batasan dalam tabel berikut.

Tabel 3. 19 Rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum terhadap luas penampang beton bruto

| Jenis tulangan | f_y MPa | Rasio tulangan minimum | |
|----------------------------|------------|------------------------|---------------------------------|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 | |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari: | $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$ |
| | | | 0,0014 |

Spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi nilai terkecil antara $5h$ dan 450 mm.

3.4.3 Perencanaan balok

3.4.3.1 Tinggi minimum balok

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 9.3.1.1, untuk balok nonprategang yang tidak tertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada tabel berikut.

Tabel 3. 20 Tinggi minimum balok nonprategang

| Kondisi perlekatan | Minimum h ^[1] |
|----------------------|----------------------------|
| Perlekatan sederhana | $l/16$ |
| Menerus satu sisi | $l/18,5$ |
| Menerus dua sisi | $l/21$ |
| Kantilever | $l/8$ |

^[1]Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi.

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 9.3.1.1.1, untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 3.18 harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 9.3.1.1.2, untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, persamaan pada Tabel 3.18 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:

- 1,65 – 0,0003 w_c
- 1,09

Berdasarkan SNI 2847 Pasal 9.3.1.1.3, untuk balok komposit nonprategang yang terbuat dari kombinasi beton ringan dan normal, ditopang saat konstruksi, dan ketika beton ringan berada dalam keadaan tertekan, koefisien modifikasi yang berdasarkan pada Pasal 9.3.1.1.2 harus digunakan.

3.4.3.2 Penulangan longitudinal balok

Koefisien kapasitas penampang didapat dari persamaan (3-34) dan nilai rasio luas tulangan terhadap luas penampang beton didapat dari persamaan (3-35), sehingga kebutuhan luas tulangan longitudinal didapat melalui persamaan (3-36). Dengan syarat tulangan komponen lentur yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2.

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-41)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (3-42)$$

Dicari nilai kapasitas momen nominal untuk mengecek syarat pada persamaan (3-35) dengan rumus berikut.

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + (d - d') \quad (3-43)$$

Dengan:

$$C_c = 0,85 f'_c a b \quad (3-44)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (3-45)$$

3.4.3.3 Penulangan transversal balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5, gaya geser desain V_c harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint.

Dengan catatan, momen-momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25 f_y$ dimana f_y kekuatan leleh yang diisyaratkan. (Kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam)

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-46)$$

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{w_u l_n}{2} \quad (3-47)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.1, kekuatan geser yang didesain harus berdasarkan pada persamaan berikut.

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-48)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-49)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1, untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial, V_c dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-50)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1, untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tekan, V_c dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)\lambda\sqrt{f_c}'b_wd \quad (3- 51)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.7.1, untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tarik signifikan, V_c dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{Nu}{3,5Ag}\right)\lambda\sqrt{f_c}'b_wd \quad (3- 52)$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, tulangan transversal harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua syarat berikut terpenuhi.

1. Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
2. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $Agf_c'/20$

Berdasarkan persamaan (3-43) dan (3-44) maka didapat persamaan untuk menentukan kuat geser yang disediakan tulangan geser.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3- 53)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3, nilai V_s untuk tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_s = \frac{A_v f_y t d}{s} \quad (3-54)$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4, sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

1. $d/4$.
2. Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping.
3. 150 mm.

3.4.4 Perencanaan kolom

3.4.4.1 Pengaruh kelangsingan kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika syarat berikut terpenuhi.

1. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-55)$$

2. Untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12 (M_1/M_2) \leq 40 \quad (3-56)$$

3.4.4.2 Penulangan longitudinal kolom

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. Nilai A_{st} dapat dicari melalui persamaan berikut.

$$A_{st} = \rho b h \quad (3-57)$$

3.4.4.3 Penulangan transversal kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019, Pasal 18.7.5.4, tulangan transversal untuk kolom didapat dari persamaan tabel berikut.

Tabel 3. 21 Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus

| Tulangan transversal | Kondisi | Persamaan yang berlaku | |
|--|--|-----------------------------------|--|
| A_{sh}/sbc untuk sengkang pengekuat persegi | $P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (a) dan (b) | $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} (a)$ $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} (b)$ |
| | $P_u > 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (a), (b), dan (c) | $0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} - A_{ch}} (c)$ |
| ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekuat lingkaran | $P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (d) dan (e) | $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} (d)$ $0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} (e)$ |
| | $P_u > 0,3 A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$ | Terbesar antara (d), (e), dan (f) | $0,35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} - A_{ch}} (f)$ |

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:

1. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
2. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

3. s_o , yang dihitung dengan

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

3.4.5 Perencanaan dinding geser

3.4.5.1 Syarat pilar dinding

Berdasarkan SNI 2847:2019 bagian terminologi dijelaskan bahwa pilar dinding (*wall pier*) merupakan suatu segmen dinding vertikal dalam suatu dinding structural, yang dibatasi oleh dua bukaan atau oleh sebuah bukaan dan sebuah tepi, dengan rasio panjang horizontal terhadap tebal dinding (l_w/b_w) kurang dari atau sama dengan 6,0, dan rasio tinggi bersih terhadap panjang horizontal (h_w/l_w) lebih besar dari atau sama dengan 2,0.

3.4.5.2 Tebal minimum dinding h

Ditetapkan dalam SNI 2847:2019 Tabel 11.3.1.1 tebal minimum dinding h seperti tabel berikut.

Tabel 3. 22 Tebal minimum dinding h

| Tipe dinding | Ketebalan minimum h | |
|---|-----------------------|--|
| Tumpu ^[1] | Terbesar dari | 100 mm |
| | | 1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu |
| Bukan tumpu | Terbesar dari | 100 mm |
| | | 1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu |
| Basement dan fondasi eksterior ^[1] | 190 mm | |

^[1] Hanya berlaku untuk dinding yang didesain sesuai dengan metode desain sederhana pada 11.5.3

3.4.5.3 Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2, paling sedikit dua lapis tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika $v_u > 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ atau $h_w/l_w \geq 2,0$, dimana h_w dan l_w merupakan tinggi dan panjang dari dinding secara keseluruhan.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1, rasio tulangan badan (*web*) terdistribusi, ρ_l dan ρ_t , pada dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025 kecuali bila V_u tidak melebihi $0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$, ρ_l dan ρ_t diizinkan untuk direduksi. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang memberi kontribusi pada V_n harus menerus dan harus didistribusikan sepanjang bidang geser.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.7.4, V_n harus dihitung dengan

$$V_n = 2 A_{vd} f_y \sin \alpha \leq 0,83 \sqrt{f'_c} A_{cw} \quad (3-58)$$

dimana α adalah sudut antara batang-batang tulangan diagonal dan sumbu longitudinal balok kopel.

3.4.5.4 Kekuatan geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1, V_n dinding struktural tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (3-59)$$

dimana koefisien α_c adalah 0,25 untuk $h_w/l_w \leq 1,5$; 0,17 untuk $h_w/l_w \geq 2,0$, dan bervariasi secara linear antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/l_w antara 1,5 dan 2,0.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.5, untuk segmen dinding horizontal dan balok kopel, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83 A_{cw} \sqrt{f'_c}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang beton segmen dinding horizontal atau balok kopel.