

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perencanaan Pembebanan

Dalam perancangan bangunan gedung, perencanaan pembebanan merupakan suatu komponen yang sangat penting, beban-beban yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.1.1. Kuat Perlu

Elemen struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726-2012:

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

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

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex + 0,3 \rho Ey \quad (3-3)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho Ex - 0,3 \rho Ey \quad (3-4)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex + 0,3 \rho Ey \quad (3-5)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho Ex - 0,3 \rho Ey \quad (3-6)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex + \rho Ey \quad (3-7)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3-8)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex + \rho Ey \quad (3-9)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3-10)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-11)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-12)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-13)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-14)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-15)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-16)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-17)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-18)$$

3.1.2. Kuat Rencana

Menurut SNI 2847-2013, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal yang dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ .

Faktor reduksi kekuatan ϕ menurut SNI 2847-2013 dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Faktor reduksi kekuatan ϕ

| No. | Keterangan | ϕ |
|-----|--|--------|
| 1. | Penampang terkendali tarik | 0,9 |
| 2. | Penampang terkendali tekan : | |
| | a. Komponen struktur dengan tulangan spiral | 0,75 |
| | b. Komponen struktur dengan tulangan lainnya | 0,65 |
| 3. | Geser dan torsi | 0,75 |
| 4. | Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat) | 0,65 |
| 5. | Daerah angkur pasca tarik | 0,85 |
| 6. | Model strat dan pengikat, dan strat pengikat daerah pertemuan (<i>nodal</i>) dan daerah tumpuan dalam model tersebut | 0,75 |

Tabel 3.1. Faktor reduksi kekuatan ϕ (lanjutan)

| No. | Keterangan | ϕ |
|-----|---|------------------|
| 7. | Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> kurang dari panjang penyaluran: a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran | 0,75 0,75-0,9 |

3.2 Perencanaan Beban Gempa

3.2.1. Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.2 dan 3.3 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. (SNI 1726-2012, pasal 5)

Tabel 3.2. 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 | | |

Tabel 3.2. Klasifikasi Situs (lanjutan)

| Kelas Situs | V_S (M/detik) | N atau N_{ch} | S_u (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 $H > 3\text{m}$) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{ m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{ m}$ dengan $S_u < 50\text{ kPa}$ | | |

3.2.2. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3-19)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3-20)$$

keterangan:

S_s = parameter response spektral percepatann gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_I = parameter response spektral percepatann gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Nilai S_s dan S_l ditentukan dari peta gerak seismik. Nilai F_a didapat dari Tabel 3.3 dan nilai F_v didapat dari Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Koefisien situs, F_a

| Kelas Situs | 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_A | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| S_B | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| S_C | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| S_D | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| S_E | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| S_F | SS^b | | | | |

Tabel 3.4. Koefisien situs, F_v

| Kelas Situs | S_s | | | | |
|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_l \leq 0,3$ | $S_l = 0,2$ | $S_l = 0,3$ | $S_l = 0,4$ | $S_l \geq 0,5$ |
| S_A | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| S_B | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| S_C | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| S_D | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| S_E | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| S_F | SS^b | | | | |

Parameter percepatan spektral untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1,0 detik, S_{DI} , harus ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-21)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3-22)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

3.2.3. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.5 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.6. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 3.5. Kategori resiko untuk bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

| Jenis pemanfaatan | Kategori resiko |
|--|-----------------|
| Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik | II |

Tabel 3.5. Kategori resiko untuk bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

| Jenis pemanfaatan | Kategori resiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> | III |
| <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p> | IV |

Tabel 3.6. Faktor keutamaan gempa

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

3.2.4. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{DI} , maka kategori desain seismik dapat ditentukan sesuai Tabel 3.7 dan tabel 3.8.

Tabel 3.7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

| Nilai S_{DS} | Kategori Resiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | 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 3.8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

| Nilai S_{DI} | Kategori Resiko | |
|-----------------------------|--------------------|----|
| | 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 |

3.2.5. Perioda Fundamental Pendekatan

Perioda fundamental pendekatan T_a , dalam detik, harus dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-23)$$

keterangan :

h_n = ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x ditentukan dari Tabel 3.10.

Tabel 3.9. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

| Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI} | 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 |

Tabel 3.10. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

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

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a , dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N \quad (3-24)$$

keterangan :

N = Jumlah tingkat

Perioda fundamental pendekatan, T_a , dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari Persamaan 28 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (3-25)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (3-26)$$

keterangan:

- A_B = luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)
- A_i = luas badan dinding geser “ i ”, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)
- D_i = panjang dinding geser “ i ” dinyatakan dalam meter (m)
- h_i = tinggi dinding geser “ i ” dinyatakan dalam meter (m)
- x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

3.2.6. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

1. Geser dasar seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (3-27)$$

C_s harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3-28)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan diatas tidak perlu melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T} \frac{R}{I_e} \quad (3-29)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-30)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus diambil sebesar:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3-31)$$

keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons dalam periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons dalam periode 1,0 detik

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode fundamental struktur

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum

2. Distribusi vertikal gaya gempa

Gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-32)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-33)$$

keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

w = bagian berat seismik efektif total struktur

h = tinggi dari dasar

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
 untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3. Distribusi horizontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-34)$$

keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i

3.3. Perencanaan Struktur Atas

3.3.1. Perencanaan Pelat

Dalam perencanaan pelat dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Sistem perencanaan pelat satu arah (*one way slab*)
2. Sistem perencanaan pelat dua arah (*two way slab*)

3.3.1.1. Penulangan pelat satu arah

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.1 tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 3.11 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

Tabel 3.11. Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

| Komponen Struktur | Tebal minimum, h | | | |
|----------------------------------|---|--------------------|---------------------|------------|
| | Tertumpu sederhana | Satu ujung menerus | Kedua ujung menerus | kantilever |
| | Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar | | | |
| Pelat masif satu-arah | $l/20$ | $l/24$ | $l/28$ | $l/10$ |
| Balok atau pelat rusuk satu-arah | $l/16$ | $l/18,5$ | $l/21$ | $l/8$ |

CATATAN:

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

- a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- b. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

3.3.1.2. Penulangan pelat dua arah

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2 tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan Tabel 3.12 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

1. Tanpa panel drop (*drop panels*)
2. Dengan panel drop (*drop panels*)

Tabel 3.12. Tebal minimum pelat tanpa balok interior*

| Tegangan leleh, f_y MPa [†] | Tanpa penebalan ‡ | | | Dengan penebalan ‡ | | |
|---|---------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|----------------|
| | Panel eksterior | | Panel interior | Panel eksterior | | Panel interior |
| | Tanpa balok pinggir | Dengan balok pinggir [§] | | Tanpa balok pinggir | Dengan balok pinggir [§] | |
| 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 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |

*Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
[†]Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
[‡]Panel drop
[§]Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_{fm} untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Selanjutnya pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3, untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2;
2. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-35)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

3. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (3-36)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (3-35) atau (3-36) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus

3.3.2. Perencanaan Balok

Lebar balok (b) minimum:

- Lebar balok $\geq 0,3$ tinggi balok
- Lebar balok ≥ 250 mm

3.3.2.1. Penulangan longitudinal balok

- a. Untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari:

$$A_{s(min)} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-37)$$

$$A_{s(min)} = \frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (3-38)$$

- b. Menurut SNI 2847 pasal 21.5.2.3. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan jika.

- Dalam joint;
- Dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint; dan
- Bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

3.3.2.2. Penulangan transversal balok

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

- (a) $d/4$;
- (b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- (c) 150 mm

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

3.3.3. Perencanaan kolom

a. Perencanaan Dimensi Kolom

Estimasi dimensi kolom ditentukan oleh beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Seperti disebutkan dalam SNI 2847-2013 pasal 10.3.6.1 dan SNI 2847-2013 pasal 10.3.6.2. disebutkan bahwa:

- Untuk komponen struktur non-prategang dengan sengkang spiral atau komponen komposit berlaku:

$$\phi P_{n,(max)} = 0,85\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-39)$$

- Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat berlaku:

$$\phi P_{n,(max)} = 0,80\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-40)$$

dengan :

A_{st} = luas tulangan

A_g = luas bruto kolom ($b \times h$)

f'_c = kekuatan tekan beton

f_y = kekuatan leleh tulangan

b. Kelangsingan Kolom

Dalam perencanaan kolom pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

- untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 22 \quad (3-41)$$

- untuk komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-42)$$

keterangan:

k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan

l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

r = radius girasi penampang komponen struktur tekan

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil sebagai positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan transversal terjadi di antara tumpuan, M_2 diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur. Nilai M_2 selalu positif.

c. Kuat Lentur

Kuat lentur yang dirancang harus memenuhi persamaan dibawah ini:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2M_{nb} \quad (3-43)$$

keterangan:

M_{nc} = kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang terendah

M_{nb} = kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint

d. Gaya Geser Rencana

Dalam SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 disebutkan bahwa Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam joint. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 11.1.1, perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan seperti berikut.

$$\phi V_n = V_u \quad (3-44)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-45)$$

dengan :

- V_u = gaya geser terfaktor
- V_n = kuat geser nominal
- V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton
- V_s = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser

Menurut SNI 2847-2013 pasal 11.2.1, kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen yang dikenai geser dan lentur saja ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c}'b_w d \quad (3-46)$$

Sedangkan untuk pasal 11.2.1, kuat geser yang disumbang oleh beton untuk komponen yang dikenai geser, lentur, dan gaya aksial ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-47)$$

dengan:

- V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton
- N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi
- A_g = luas bruto penampang kolom
- λ = faktor pengali
- b_w = lebar balok
- d = tinggi efektif penampang beton

Sedangkan kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser dapat digunakan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-48)$$

dengan:

- V_s = kuat geser yang disumbangkan oleh beton
- A_v = luas tulangan geser
- f_y = tegangan leleh tulangan geser
- d = lebar efektif penampang beton
- s = jarak antar sengkang

e. Tulangan Transversal Kolom

Tulangan transversal kolom harus dipasang sepanjang panjang l_o dari muka joint dan pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar a, b, dan c:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelepasan lentur sepertinya terjadi.
- b. Seperenam bentang bersih komponen struktur
- c. 450 mm

Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil, berikut ketentuannya:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum,
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil,
- c. S_o seperti didefinisikan pada persamaan berikut:

3.3.4. Perencanaan Dinding Geser

Berdasarkan tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung SNI 2847-2013 disebutkan bahwa:

1. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton (ρ_l) harus:
 - a. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa; atau
 - b. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 - c. 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari \emptyset -16 atau D-16.
2. Rasio minimum luas tulangan horisontal terhadap luas beton bruto (ρ_t) harus:
 - a. 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa; atau
 - b. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 - c. 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari \emptyset -16 atau D16.

3. Dinding lebih dari tebal 250 mm, kecuali dinding besmen (*basement*), harus mempunyai tulangan untuk setiap arah dipasang dalam dua lapis sejajar dengan muka dinding sesuai dengan berikut ini:
- Satu lapis tidak kurang dari setengah dan tidak lebih dari dua pertiga tulangan total yang dibutuhkan untuk setiap arah harus ditempatkan tidak kurang dari 50 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan eksterior;
 - Lapisan lainnya, sisa tulangan yang diperlukan dalam arah tersebut, harus ditempatkan tidak kurang dari 20 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan interior.
 - Jarak tulangan vertikal dan horisontal satu sama lain tidak boleh lebih jauh dari tiga kali tebal dinding, atau lebih jauh dari 450 mm.

3.4. Perencanaan Struktur Bawah

3.4.1. Perencanaan Fondasi Tiang

Perencanaan tulangan *bored pile*

Perencanaan tulangan *bored pile* harus memenuhi persamaan:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (3-49)$$

$$\phi P_{n,(\max)} = 0,85\phi [0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-50)$$

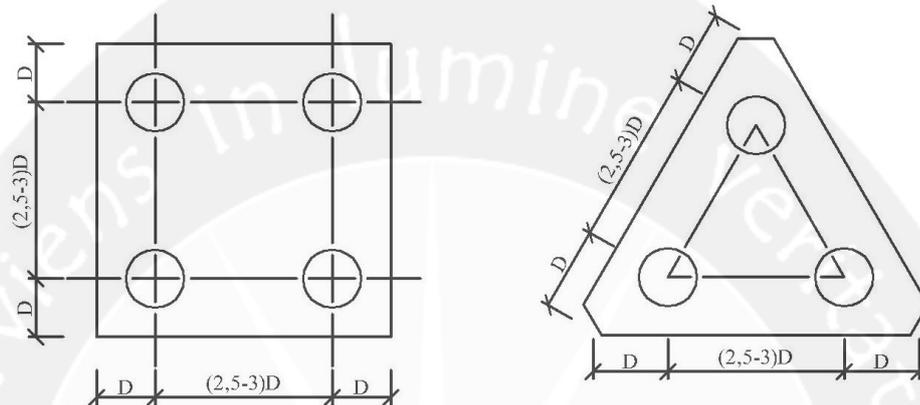
dengan:

A_g = luas penampang *bored pile*

A_{st} = luas tulangan *bored pile*

3.4.2. Perencanaan *Pile Cap*

Jarak tiang mempengaruhi ukuran pile cap. Jarak tiang pada kelompok tiang biasanya diambil $2,5D - 3 D$, di mana D adalah diameter tiang.



Gambar 3.1. Jarak antar tiang

Syarat syarat perencanaan pile cap sesuai SNI 2847-2013:

- tebal fondasi tapak di atas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi tapak di atas tanah, atau kurang dari 300 mm untuk fondasi tapak (*footing*) di atas tiang fondasi. (pasal 15.7),
- tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor di atas dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75mm,

untuk menghitung gaya aksial yang disalurkan ke tiang digunakan persamaan dibawah ini:

$$P_p = \frac{Q}{n} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} + \frac{M_x y}{\sum y^2} \quad (3-51)$$

dengan

P_p = gaya aksial yang disalurkan ke tiang

Q = gaya aksial yang diterima dari kolom

n = jumlah tiang

M_y = momen arah y

M_x = momen arah x

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang

$\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

x = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang

y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang

Dalam perancangan *pile cap* diperlukan tinjauan terhadap dua parameter geser yaitu, geser dua arah (*punching shear*) dan juga geser satu arah (*beam shear*).

Kedua parameter geser tersebut harus memenuhi syarat untuk menghindari kegagalan struktur.