

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Saat ini beton bertulang merupakan material yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi dikarenakan bahan pembuat beton yaitu semen, air dan agregat yang mudah diperoleh juga sifat beton yang tahan terhadap api. Beton bertulang adalah campuran dari dua bahan yang berfungsi untuk menahan beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan, kedua bahan tersebut adalah beton dan baja tulangan.

Secara mekanis beton merupakan material yang kuat dalam menahan tekan, namun lemah dalam menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kekuatan tariknya, sehingga diperlukannya baja tulangan pada bagian beton yang berpotensi mengalami tarik agar berguna untuk menahan beban tarik tersebut.

Menurut Dipohusodo (1999), kerjasama antara beton dan baja tulangan hanya dapat terwujud apabila keadaan-keadaan berikut terpenuhi:

1. Adanya lekatan sempurna antara batang baja tulangan dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran di antara keduanya.
2. Beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja
3. Angka muai kedua bahan hampir sama, dimana untuk kenaikan suhu satu derajat Celcius angka muai beton 0,000010 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012, sehingga tegangan yang timbul karena perbedaan nilai dapat diabaikan.

Saat ini ada dua jenis baja tulangan yaitu baja tulangan polos dan baja tulangan ulir. Jika dibandingkan dengan baja tulangan polos, baja tulangan ulir memiliki daya kuat lekat antara tulangan dengan beton karena memiliki sirip pada permukaan tulangannya. Dalam SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton, tulangan ulir ini bersirip teratur dan diperkenankan mempunyai sirip memanjang yang searah dan sejajar dengan sumbu batang, serta sirip-sirip lain dengan arah

melintang. Mengacu pada SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton maka pengelompokkan baja tulangan untuk beton bertulang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Ukuran Baja Tulangan Polos

| No | Penamaan | Diameter nominal (d) | Luas penampang nominal (A) | Berat nominal per meter* |
|----|----------|----------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | mm | mm ² | kg/m |
| 1 | P 6 | 6 | 28 | 0,222 |
| 2 | P 8 | 8 | 50 | 0,395 |
| 3 | P 10 | 10 | 79 | 0,617 |
| 4 | P 12 | 12 | 113 | 0,888 |
| 5 | P 14 | 14 | 154 | 1,208 |
| 6 | P 16 | 16 | 201 | 1,578 |
| 7 | P 19 | 19 | 284 | 2,226 |
| 8 | P 22 | 22 | 380 | 2,984 |
| 9 | P 25 | 25 | 491 | 3,853 |
| 10 | P 28 | 28 | 616 | 4,834 |
| 11 | P 32 | 32 | 804 | 6,313 |
| 12 | P 36 | 36 | 1018 | 7,990 |
| 13 | P 40 | 40 | 1257 | 9,865 |
| 14 | P 50 | 50 | 1964 | 15,413 |

CATATAN:

- *sebagai referensi
- Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran adalah sebagai berikut:
 - a) Luas penampang nominal (A)

$$A = 0,7854 \times d^2 \quad (\text{mm}^2)$$
 d = diameter nominal (mm)
 - b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100} \quad (\text{kg/m})$

(Sumber: SNI 2052:2017)

Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Beton Ulir/Sirip

| No | Pena- maan | Dia- meter nominal (d) | Luas penam- pang nominal (A) | Tinggi sirip (H) | | Jarak sirip melintang (P) Maks | Lebar sirip membujur (T) Maks | Berat nominal per meter |
|----|---------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------|---|--|-------------------------------|
| | | | | min | maks | | | |
| | | mm | mm ² | mm | mm | mm | mm | kg/m |
| 1 | S 6 | 6 | 28 | 0,3 | 0,6 | 4,2 | 4,7 | 0,222 |
| 2 | S 8 | 8 | 50 | 0,4 | 0,8 | 5,6 | 6,3 | 0,395 |
| 3 | S 10 | 10 | 79 | 0,5 | 1,0 | 7,0 | 7,9 | 0,617 |
| 4 | S 13 | 13 | 133 | 0,7 | 1,3 | 9,1 | 10,2 | 1,042 |
| 5 | S 16 | 16 | 201 | 0,8 | 1,6 | 11,2 | 12,6 | 1,578 |
| 6 | S 19 | 19 | 284 | 1,0 | 1,9 | 13,3 | 14,9 | 2,226 |
| 7 | S 22 | 22 | 380 | 1,1 | 2,2 | 15,4 | 17,3 | 2,984 |
| 8 | S 25 | 25 | 491 | 1,3 | 2,5 | 17,5 | 19,7 | 3,853 |
| 9 | S 29 | 29 | 661 | 1,5 | 2,9 | 20,3 | 22,8 | 5,185 |
| 10 | S 32 | 32 | 804 | 1,6 | 3,2 | 22,4 | 25,1 | 6,313 |
| 11 | S 36 | 36 | 1018 | 1,8 | 3,6 | 25,2 | 28,3 | 7,990 |
| 12 | S 40 | 40 | 1257 | 2,0 | 4,0 | 28,0 | 31,4 | 9,865 |
| 13 | S 50 | 50 | 1964 | 2,5 | 5,0 | 35,0 | 39,3 | 15,413 |
| 14 | S 54 | 54 | 2290 | 2,7 | 5,4 | 37,8 | 42,3 | 17,978 |
| 15 | S 57 | 57 | 2552 | 2,9 | 5,7 | 39,9 | 44,6 | 20,031 |

CATATAN:

- Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur
- Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip/ulir adalah sebagai berikut:
 - Luas penampang nominal (A)
 $A = 0,7854 \times d^2$ (mm²)
d = diameter nominal (mm)
 - Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854}{100} d^2 \times 0,7$ (kg/m)
 - Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d
 - Tinggi sirip minimum = 0,05 d
Tinggi sirip maksimum = 0,10 d
 - Jumlah 2 (dua) sirip membujur maksimum = 0,25 K
Keliling nominal (K)
 $K = 0,3142 \times d$ (mm)

(Sumber: SNI 2052:2017)

Beton betulang memerlukan selimut beton yang berguna untuk melindungi baja tulangan dari faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya korosi. Pada SNI 2847:2019, tebal minimum selimut beton harus memenuhi ketentuan dala, Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Ketebalan Selimut Beton Untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang Yang Dikor Di Tempat

| Paparan | Komponen struktur | Tulangan | Ketebalan Selimut, mm |
|---|---|---|-----------------------|
| Dikor dan secara permanen kontak dengan tanah | Semua | Semua | 75 |
| Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah | Semua | Batang D19 hingga D27 | 50 |
| | | Batang D16, Kawat D13 atau D13 dan yang lebih kecil | 40 |
| Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah | Pelat, pelat berusuk dan dinding | Batang D43 dan D57 | 40 |
| | | Batang D36 dan yang lebih kecil | 20 |
| Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah | Balok, kolom, pedestal dan batang tarik | Tulangan utama, sengkang, sengkang kawat spiral dan sengkang pengikat | 40 |

(Sumber: SNI 2847:2019)

2.2 Pembebanan Pada Struktur

Beban yang terjadi pada struktur adalah beban vertikal contohnya beban mati dan beban hidup dan beban horizontal contohnya beban gempa dan beban angin.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari semua komponen bangunan itu sendiri (dinding, lantai, atap, plafon, tangga) termasuk komponen arsitektural, komponen struktural, semua unsur tambahan dan semua peralatan yang merupakan satu kesatuan dengan bangunan tersebut.

Pada Tabel 2.4 merupakan berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung yang terdapat dalam SNI 1727:2020 yang digunakan untuk mendesain sebuah struktur bangunan.

Tabel 2.4 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

| Material | Densitas (lb/ft ³) | Densitas (kNm ³) |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Concrete, reinforced | | |
| Cinder | 111 | 17,4 |
| Slag | 138 | 21,7 |
| Stone (including gravel) | 150 | 23,6 |
| Steel, cold-drawn | 492 | 77,3 |

| Komponen | Beban (kNm ²) |
|--|---------------------------|
| CEILING | |
| Acoustical fiberboard | 0,05 |
| Gypsum board (per mm thickness) | 0,008 |
| Mechanical duct allowance | 0,19 |
| Plaster on tile or concrete | 0,24 |
| Plaster on wood lath | 0,38 |
| Suspended steel channel system | 0,10 |
| Suspended metal lath and cement plaster | 0,72 |
| Suspended metal lath and gypsum plaster | 0,48 |
| Wood furring suspension system | 0,32 |
| COVERINGS, ROOF, AND WALL | |
| Asbestos-cement shingles | 0,19 |
| Asphalt shingles | 0,10 |
| Cement tile | 0,77 |
| Clay tile (for mortar add 0,48 kNm ²) | |
| Book tile, 51 mm | 0,57 |
| Book tile, 76 mm | 0,96 |
| Ludowici | 0,48 |
| Roman | 0,57 |
| Spanish | 0,91 |
| Waterproofing membranes: | |
| Bituminous, gravel-covered | 0,28 |
| Bituminous, smooth surface | 0,07 |
| Liquid applied | 0,05 |
| Single-ply, sheet | 0,03 |
| FRAME WALLS | |
| Exterior stud walls: | |
| 51 mm x 102 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding | 0,53 |
| 51 mm x 152 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding | 0,67 |
| Exterior stud walls with brick veneer | 2,30 |
| Windows, glass, frame, and sash | 0,38 |
| Clay brick wythes: | |
| 102 mm | 1,87 |
| 203 mm | 3,78 |
| 305 mm | 5,51 |
| 406 mm | 7,42 |
| FLOORS AND FLOOR FINISHES | |
| Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar | 1,44 |
| Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill | 1,53 |
| Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed | 0,77 |
| Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed | 1,10 |

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang berasal dari penggunaan suatu gedung atau pun benda-benda yang dapat berpindah tempat juga termasuk beban yang diakibatkan oleh lingkungan sekitar seperti beban angin, beban hujan, dan beban gempa. Pada Tabel 2.5 adalah beban merata minimum yang telah ditetapkan

dalam SNI 1727:2020 dan digunakan untuk menghitung beban hidup dimana beban hidup yang digunakan adalah beban maksimum yang dapat terjadi tetapi tidak boleh kurang dari beban minimum yang telah ditetapkan.

Tabel 2.5 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum

| Hunian atau penggunaan | Merata, L_o psf (kN/m ²) | Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal) | Reduksi beban hidup berlantai banyak dizinkan? (No. Pasal) | Terpusat lb (kN) | Juga Lihat Pasal |
|---|--|--|--|---------------------|---------------------|
| Apartemen (lihat rumah tinggal) | | | | | |
| Sistem lantai akses | | | | | |
| Ruang kantor | 50 (2,4) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 2.000 (8,9) | |
| Ruang komputer | 100 (4,79) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 2.000 (8,9) | |
| Perpustakaan | | | | | |
| Ruang baca | 60 (2,87) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 1.000 (4,45) | |
| Ruang penyimpanan | 150 (7,16) | Tidak (4.7.3) | Ya (4.7.3) | 1.000 (4,45) | 4.13 |
| Koridor di atas lantai pertama | 60 (3,83) | Ya (4.7.2) | Ya (4.7.2) | 1.000 (4,45) | |
| Atap | | | | | |
| Atap datar, bertubung, dan lengkung | 30 (0,96) | Ya (4.8.2) | - | | 4.8.1 |
| Atap yang digunakan penghuni | Sama dengan penggunaan yang diayoni | Ya (4.8.3) | - | | |
| Atap untuk tempat berkumpul | 100 (4,70) | Ya (4.8.3) | - | | |
| Atap vegetatif dan atap lansekap | 20 (0,96) | Ya (4.8.2) | - | | |
| Atap bukan untuk hunian | 100 (4,78) | Ya (4.8.3) | - | | |
| Atap untuk tempat berkumpul | 100 (4,78) | Ya (4.8.3) | - | | |
| Atap untuk penggunaan lainnya | Sama dengan penggunaan yang diayoni | Ya (4.8.3) | - | | |
| Aweing dan kanopi | 5 (0,24) | Tidak (4.8.2) | - | | |
| Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan | 5 (0,24) | Tidak (4.8.2) | - | | |
| Rangka penutupi layar penutup | 5 (0,24) berdasarkan gros-ributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka | Tidak (4.8.2) | - | 200 (0,89) | |
| Semua konstruksi lainnya | 30 (0,96) | Ya (4.8.2) | - | | 4.8.1 |
| Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja | | | | | |
| Titik panel tunggal dan kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel | | - | - | 2000 (8,90) | |
| Semua komponen struktur atap utama lainnya | | - | - | 300 (1,33) | |
| Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan | | - | - | 300 (1,33) | |

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.2.3 Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727:2020 bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Ketentuan dalam Pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini.

Beban angin desain untuk bangunan dan struktur lain termasuk SPGAU harus ditentukan dengan menggunakan salah satu prosedur seperti disyaratkan dalam SNI 1727:2020 pada pasal berikut ini:

1. Pasal 27: Prosedur terarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian.
2. Pasal 28: Prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah.
3. Pasal 29: Prosedur terarah untuk perlengkapan bangunan gedung (konsol atap dan parapet) dan struktur lain.
4. Pasal 31: Prosedur terowongan angin untuk setiap bangunan gedung atau struktur lain.

Langkah-langkah menentukan beban angin untuk desain SPGAU untuk semua bangunan bertingkat rendah yang dirancang menggunakan Prosedur Amplop adalah sebagai berikut:

Langkah 1 : Tentukan kategori risiko bangunan gedung.

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar, V .

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angin:

- a. Faktor arah angin, K_d
- b. Kategori eksposur B, C atau D
- c. Faktor topografi, K_{zt}
- d. Faktor elevasi permukaan tanah, K_e
- e. Klasifikasi ketertutupan
- f. Koefisien tekanan internal, (GC_{pi})

Langkah 4 : Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h .

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q_z atau q_h .

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekanan eksternal, (G_C).

Langkah 7 : Hitung tekanan angin, p .

1. Kecepatan Angin Dasar (V)

Sebagai acuan normatif, kita dapat mengambil nilai kecepatan angin dasar, V (m/s), berdasarkan standar dari Australia, HB 212-2002 – Design *Wind Speeds for the Asia-Pacific Region*. Standar ini merupakan publikasi yang dikeluarkan oleh *Australian Standard* untuk nilai kecepatan angin pada area Asia Pasifik. Menurut HB 212-2002, wilayah Indonesia sebagai daerah di sekitar garis ekuator masuk kedalam level I, yang ditunjukkan pada gambar berikut:

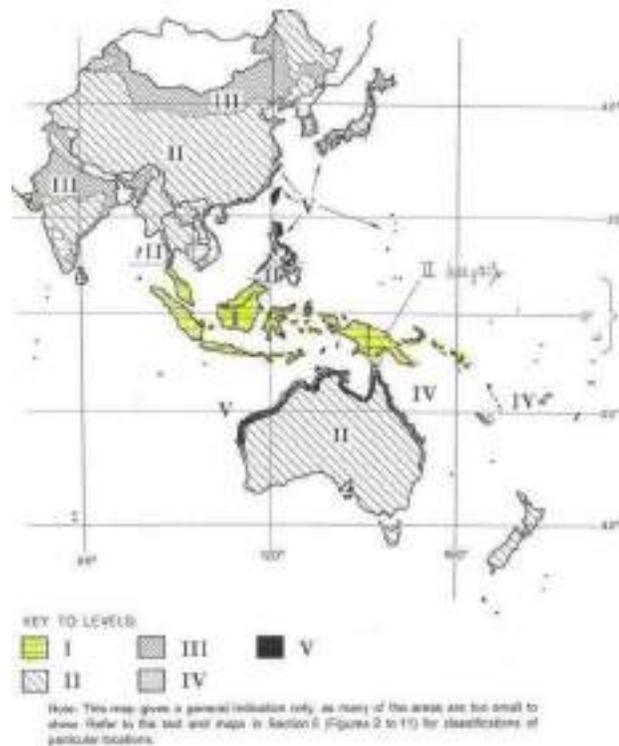


FIGURE 1 GENERAL MAP OF LEVELS FOR THE REGION

Gambar 2.1 Kategori Kecepatan Angin Asia Pasifik

(Sumber: ryanrakhmats.wordpress.com)

3.1 LEVEL I (equatorial regions—strong thunderstorms and monsoon winds)

A suitable relationship for the equatorial countries of Singapore, Malaysia, Indonesia, and Papua New Guinea is the following, which is derived from a composite analysis of 11 stations (Paragraph C1, Appendix C)

$$V_R = 70 - 56R^{-0.1} \quad \dots 1$$

This gives a value of V_{50} (50 year return period gust) of 32.1 m/s. The value for V_{500} is 39.9 m/s.

Gambar 2.2 Peraturan *Wind Speed* Level I

(Sumber: Ryanrahmats.wordpress.com)

Dari publikasi ini dapat kita lihat bahwa nilai *wind speed* adalah 32.1 m/s untuk periode 50 tahunan dan 39.9 m/s untuk periode 500 tahunan. Perlu di catat di sini bahwa desain beban angin untuk *Australian Code* dan ASCE cukup berbeda, dan nilai 500 tahunan untuk desain ultimit (LRFD) di *Australian Code* berbeda dengan ASCE yang nilai periode ulangnya berdasarkan *risk category*. Untuk nilai periode ulang berdasarkan *risk category*, dapat menggunakan persamaan 1 dipublikasi HB212-2002, sehingga didapat nilai-nilainya yaitu:

Tabel 2.6 *Wind Speed* untuk Kategori Resiko Bangunan

| <i>Risk Category</i> | <i>Periode Ulang</i> | <i>Wind Speed</i> |
|----------------------|----------------------|-------------------|
| I | 300 | 38.3 |
| II | 700 | 40.9 |
| III | 1700 | 43.4 |
| IV | 1700 | 43.4 |

(Sumber: Ryanrahmats.wordpress.com)

2. Faktor Arah Angin (K_d)

Dalam SNI 1727:2020, faktor arah angin, K_d harus ditentukan dari Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Faktor Arah Angin, K_d

| Tipe struktur | Faktor arah angin K_d |
|--|-------------------------|
| Bangunan gedung | |
| Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) | 0,85 |
| Komponen dan Kledning (K&K) | 0,85 |
| Atap lengkung | 0,85 |
| Kubah berbentuk bundar | 1,0* |
| Cerobong, tangki, dan struktur serupa | 0,50 |
| Persegi | 0,55 |
| Segi enam | 1,0* |
| Segi delapan | 1,0* |
| Bundar | |
| Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat | 0,85 |
| Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal | 0,85 |
| Rangka batang menara | |
| Segitiga, persegi, atau persegi panjang | 0,85 |
| Semua penampang lainnya | 0,95 |

*Faktor arah angin $K_d = 0,55$ digunakan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-esimetris.

(Sumber: SNI 1727:2020)

3. Kategori Eksposur

- a. Eksposur B: Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457m). Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.
- b. Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.
- c. Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana

kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

4. Faktor Topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.1)$$

dengan K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam SNI 1727:2020 Gambar 26.8-1. Jika kondisi situs dan lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka $K_{zt} = 1,0$.

5. Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara, K_e , harus ditentukan sesuai dengan Tabel 2.8. Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai $K_e = 1,0$.

Tabel 2.8 Faktor Elevasi Permukaan Tanah, K_e

| Elevasi tanah di atas permukaan laut (Sea Level) | | Faktor elevasi permukaan tanah K_e |
|--|---------|---|
| ft | m | |
| < 0 | < 0 | Lihat catatan 2 |
| 0 | 0 | 1,00 |
| 1.000 | 305 | 0,96 |
| 2.000 | 610 | 0,93 |
| 3.000 | 914 | 0,90 |
| 4.000 | 1.219 | 0,86 |
| 5.000 | 1.524 | 0,83 |
| 6.000 | 1.829 | 0,80 |
| > 6.000 | > 1.829 | Lihat catatan 2 |

CATATAN

- Perkiraan konservatif, boleh diambil $K_e = 1,00$ dalam semua kasus.
- Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:

$$K_e = e^{-0,000062z_e} \quad (z_e = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft.})$$

$$K_e = e^{-0,000119z_e} \quad (z_e = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m.})$$
- Dalam semua kasus K_e boleh diambil sebesar 1,00.

(Sumber: SNI 1727:2020)

6. Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan (K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan, koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_z atau K_h , sebagaimana berlaku, harus ditentukan dari

Tabel 2.9. Untuk lokasi yang berada di zona transisi antara kategori-kategori eksposur yang mendekati perubahan kekasaran permukaan tanah, boleh diambil nilai menengah dari K_z atau K_h yang ada dalam Tabel 2.9, asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang didefinisikan dalam literatur yang diakui.

Tabel 2.9 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z

| Ketinggian di atas permukaan tanah | | Eksposur | | |
|------------------------------------|-------|--------------------------|------|------|
| ft | m | B | C | D |
| 0-15 | 0-4.6 | 0.67 (0,70) ^a | 0,85 | 1,03 |
| 20 | 6,1 | 0,62 (0,70) ^a | 0,90 | 1,08 |
| 25 | 7,6 | 0,65 (0,70) ^a | 0,94 | 1,12 |
| 30 | 9,1 | 0,70 | 0,98 | 1,16 |
| 40 | 12,2 | 0,76 | 1,04 | 1,12 |
| 50 | 15,2 | 0,81 | 1,09 | 1,27 |
| 60 | 18,0 | 0,85 | 1,13 | 1,31 |
| 70 | 21,3 | 0,89 | 1,17 | 1,34 |
| 80 | 24,4 | 0,93 | 1,21 | 1,38 |
| 90 | 27,4 | 0,96 | 1,24 | 1,40 |
| 100 | 30,5 | 0,99 | 1,26 | 1,43 |
| 120 | 36,6 | 1,04 | 1,31 | 1,48 |
| 140 | 42,7 | 1,09 | 1,36 | 1,52 |
| 160 | 48,8 | 1,13 | 1,39 | 1,55 |
| 180 | 54,9 | 1,17 | 1,43 | 1,58 |
| 200 | 61,0 | 1,20 | 1,46 | 1,61 |
| 250 | 76,2 | 1,28 | 1,53 | 1,68 |
| 300 | 91,4 | 1,35 | 1,59 | 1,73 |
| 350 | 106,7 | 1,41 | 1,64 | 1,78 |
| 400 | 121,9 | 1,47 | 1,69 | 1,82 |
| 450 | 137,2 | 1,52 | 1,73 | 1,86 |
| 500 | 152,4 | 1,56 | 1,77 | 1,89 |

^aGunakan 0,70 pada Pasal 26. Eksposur B, apabila $z < 30$ ft (9,1 m).

Catatan:

1. Koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$\text{Untuk } 15 \text{ ft (4,6 m)} \leq z \leq z_g \quad K_z = 2,01 \left(z/z_g \right)^{-0,4}$$

$$\text{Untuk } z < 15 \text{ ft (4,6 m)} \quad K_z = 2,01 \left(15/z_g \right)^{0,4}$$

2. z dan z_g ditubulasi dalam Tabel 26.11-1.

3. Interpolasi linier untuk nilai menengah dari tinggi z boleh dilakukan.

4. Kategori eksposur didefinisikan pada Pasal 26.7.

(Sumber: SNI 1727:2020)

7. Faktor Efek Hembusan Angin

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

8. Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Tabel 2.10 Sistem Penahan Gaya Angin Utama Dan Komponen Dan Klading (semua ketinggian): Koefisien Tekanan Internal, (G_{cpi}), Untuk Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, Terbuka Sebagian, Dan Bangunan Terbuka (dinding dan atap)

| Klasifikasi ketertutupan | Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan | Tekanan internal | Koefisien tekanan internal, (G_{cpi}) |
|----------------------------|--|------------------|---|
| Bangunan tertutup | A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_o/A_g \leq 0,2$ | Sedang | - 0,18 - 0,18 |
| Bangunan tertutup sebagian | $A_o > 1,1A_o$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_o/A_g \leq 0,2$ | Tinggi | - 0,55 - 0,55 |
| Bangunan terbuka sebagian | Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka | Sedang | - 0,18 - 0,18 |
| Bangunan terbuka | Setiap dinding minimal terbuka 80 % | Diabaikan | 0,00 |

CATATAN

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam, masing-masing.
2. Nilai (G_{cpi}) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang disyaratkan.
3. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - a. Nilai positif (G_{cpi}) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
 - b. Nilai negatif (G_{cpi}) diterapkan pada semua permukaan dalam.

(Sumber: SNI 1727:2020)

9. Tekanan Kecepatan (q_z atau q_h)

Tekanan kecepatan, q_z , yang dievaluasi pada ketinggian z di atas tanah harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \text{ (N/m}^2\text{)}; V \text{ dalam m/s} \quad (2.2)$$

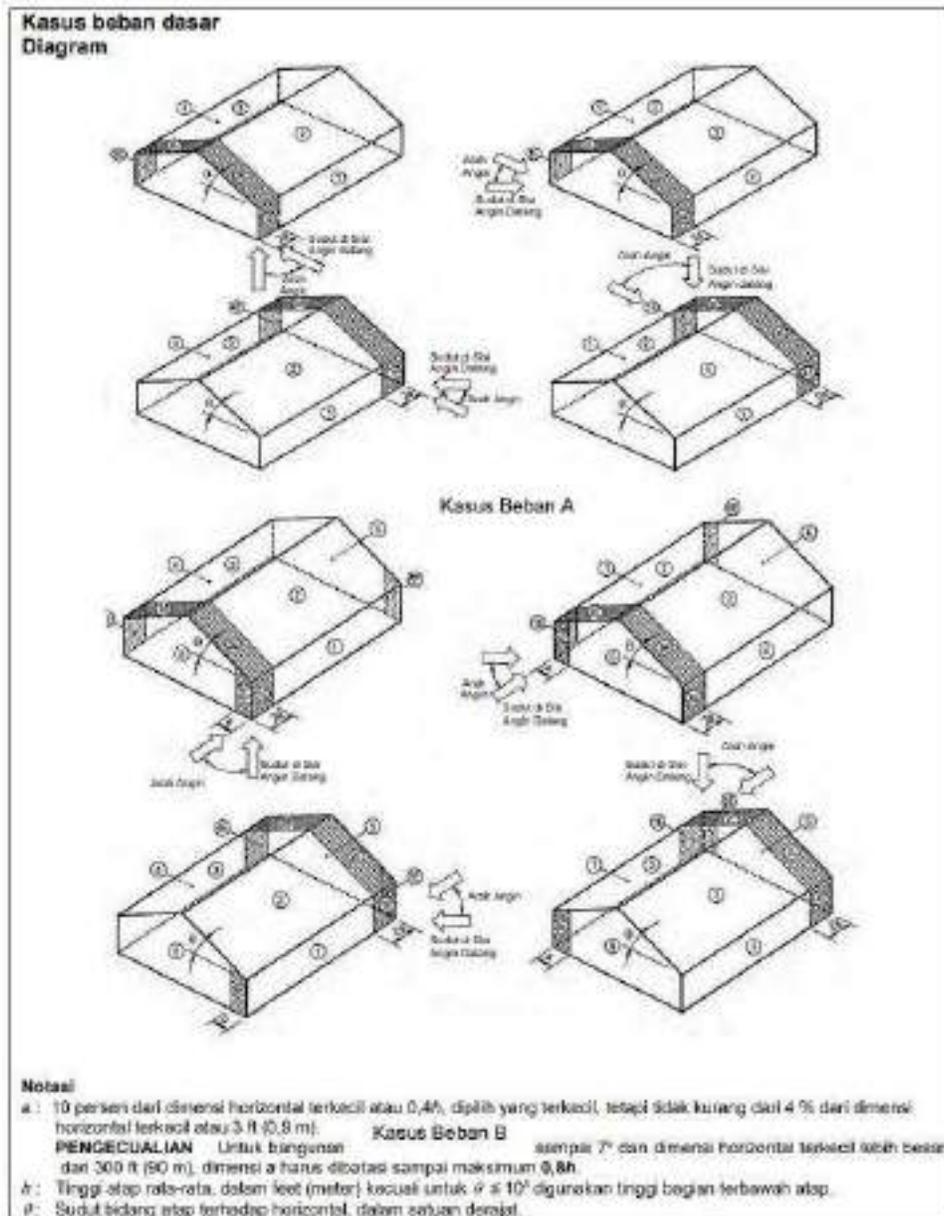
10. Koefisien Tekanan Eksternal (G_{cpe})

Menentukan koefisien tekanan eksternal, (G_{cpe}), dengan menggunakan Gambar 2.3 untuk atap datar dan pelana.

11. Tekanan angin desain untuk bangunan gedung bertingkat rendah

Tekanan angin desain untuk SPGAU bangunan bertingkat rendah harus ditentukan oleh persamaan berikut:

$$p = q_h[(G_{cpe}) - (G_{cpi})] \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)]: Koefisien Tekanan Eksternal, ($G_{C_{pe}}$), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah (Sumber: SNI 1727:2020)

| KASUS BEBAN A | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Sudut atap θ (derajat) | Permukaan Bangunan Gedung | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1E | 2E | 3E | 4E |
| 0-5 | 0,40 | -0,69 | -0,37 | -0,29 | 0,61 | -1,07 | -0,53 | -0,43 |
| 20 | 0,53 | -0,69 | -0,48 | -0,43 | 0,80 | -1,07 | -0,69 | -0,64 |
| 30-45 | 0,56 | 0,21 | -0,43 | -0,37 | 0,69 | 0,27 | -0,53 | -0,48 |
| 60 | 0,56 | 0,56 | -0,37 | -0,37 | 0,69 | 0,69 | -0,48 | -0,48 |

| KASUS BEBAN B | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Sudut Atap θ (derajat) | Permukaan Bangunan Gedung | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1E | 2E | 3E | 4E | 5E | 6E |
| 0-90 | -0,45 | -0,69 | -0,37 | -0,45 | 0,40 | -0,29 | -0,48 | -1,07 | -0,53 | -0,48 | 0,61 | -0,43 |

Catatan:

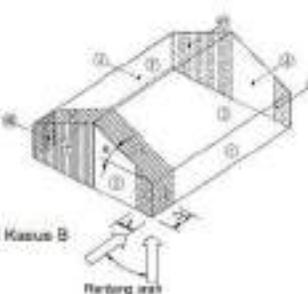
- Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
- Untuk nilai-nilai θ selain yang diperlihatkan, diperkenankan menggunakan interpolasi linier.
- Bangunan gedung harus didesain untuk semua arah angin dengan menggunakan 6 pola pembebanan yang diperlihatkan. Pola pembebanan tersebut diterapkan pada setiap sudut bangunan gedung sebagai Sudut Acuan.
- Kombinasi tekanan eksternal dan internal (lihat Tabel 26.11-1) harus dievaluasi ketika diperlukan untuk memperoleh beban yang memberi dampak paling parah.
- Untuk kasus beban torsional yang diperlihatkan di bawah ini, tekanan pada zona-zona ditandai dengan "T" (1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T) harus 25 % dari tekanan penuh angin desain (zona 1, 2, 3, 4, 5, 6).
PENGECEUALIAN: Bangunan gedung satu tingkat dengan h kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), bangunan gedung dua tingkat atau kurang terdiri dari konstruksi rangka ringan, dan bangunan gedung dua tingkat atau kurang didesain dengan diafragma fleksibel tidak perlu didesain untuk kasus beban torsional. Beban torsional harus diterapkan untuk semua delapan pola beban dasar dengan menggunakan gambar di bawah ini yang diterapkan pada setiap Sudut Acuan (Sudut Di Sisi Angin Datang).
- Untuk tujuan desain bangunan gedung SPGAU, gaya geser horizontal total tidak boleh kurang dari yang ditentukan dengan mengabaikan beban angin pada atap.
PENGECEUALIAN: Ketentuan ini tidak berlaku untuk bangunan gedung yang menggunakan rangka momen untuk SPGAU.
- Untuk atap datar, gunakan $\theta = 0^\circ$ dan lokasi elemen pembatas zona 2/3 dan zona 2E/3E pada tengah-lebar dari bangunan gedung.
- Koefisien tekanan atap (G_{Cp}), bila negatif pada Zona 2 dan 2E, harus diterapkan pada Zona 2/2E untuk jarak dari tepi atap sama dengan 0,5 kali dimensi horizontal bangunan gedung paralel terhadap arah SPGAU yang sedang didesain atau 2,5 kali tinggi bagian terbawah atap pada dinding di sisi angin datang, pilih yang terkecil; asalnya dari Zona 2/2E sampai ke garis bubungan harus menggunakan koefisien (G_{Cp}) untuk Zona 3/3E.

Kasus beban torsional



Torsi Kasus A

Arah Transversal



Torsi Kasus B

Arah Longitudinal

Gambar 2.3 Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)]: Koefisien Tekanan Eksternal, (G_{Cp}), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah (Lanjutan)
(Sumber: SNI 1727:2020)

2.2.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban pada struktur suatu bangunan yang terjadi akibat pergerakan tanah yang menyebabkan getaran. Ada dua jenis metode dalam menganalisis beban gempa, yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik.

1. Analisis Statik Ekuivalen

Metode ini digunakan untuk menganalisis beban gempa pada struktur beraturan dimana beban yang bekerja merupakan hasil penyederhanaan dan modifikasi pergerakan tanah. Beban tersebut bekerja pada suatu pusat massa lantai-lantai struktur gedung.

2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur yang pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi dua, yaitu analisis ragam respons spektrum dan analisis riwayat waktu. Analisis ragam respon spektrum yang total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar. Analisis riwayat waktu percepatan gempa adalah analisis dinamis yang pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa.

Analisis dinamik digunakan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Analisis ragam spektrum respon sebagai spektrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar untuk wilayah masing-masing gempa.

Untuk melakukan analisis yang memadai bagi suatu sistem struktur perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain, ukuran dan bentuk struktur, kepentingan dan kegunaan struktur, serta hal-hal lain yang berhubungan dengan kondisi tanah dasar dan wilayah kegempaan. Beban gempa yang terjadi pada struktur dihitung berdasarkan acuan SNI 1726:2019.

2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan struktur bangunan yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan SNI 2847:2019 tentang Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

2.3.1 Kombinasi Pembebanan Dasar

Mengacu pada SNI 1727:2020, kombinasi pembebanan dasar sebagai berikut:

$$1. \quad 1,4D \quad (2.4)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.5)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.6)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.7)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.8)$$

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

S = beban salju

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

2.3.2 Kombinasi Pembebana Dasar Dengan Efek Beban Seismik

Mengacu pada SNI 1726:2019, bila struktur mengalami efek beban seismik, kombinasi beban berikut harus diperhitungkan sebagai tambahan pada kombinasi dasar.

Bila efek beban seismik yang ditetapkan, $E = f(E_v, E_h)$ dikombinasikan dengan efek beban lainnya, kombinasi beban seismik berikut harus digunakan:

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L \quad (2.9)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h \quad (2.10)$$

Bila efek beban seismik dengan kekuatan lebih, $E_m = f(E_v, E_{mh})$, dikombinasikan dengan efek beban lainnya, kombinasi beban seismik berikut untuk struktur yang harus digunakan adalah:

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_{mh} + L \quad (2.11)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_{mh} \quad (2.12)$$

2.4 Perencanaan Ketahanan Gempa Yang Mengacu Pada SNI 1726 Tahun 2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung

SNI 1726:2019 memberi syarat bahwa gempa rencana bekerja pada ke dua arah sumbu utama struktur bangunan yang saling tegak lurus dalam waktu yang bersamaan besarnya beban gempa diperhitungkan dengan menjumlahkan 100% beban gempa pada satu arah dengan 30% beban gempa pada arah tegak lurusnya. Berikut ini langkah-langkah dalam menganalisis beban gempa yang diatur dalam SNI 1726:2019 dan menggunakan metode analisis respon spektrum.

2.4.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan Dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori risiko dan faktor keutamaan diatur dalam SNI 1726:2019 yang dapat dilihat pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

| Jenis pemanfaatan | Kategori risiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegempaan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perikanan, dan peternakan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,III, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkotaan - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pelabuhan | II |
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegempaan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biopark - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Perjan - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan sosial terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegempaan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat perbelanjaan/ mall - Fasilitas perancangan air - Fasilitas perancangan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, perancangan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar, 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 dinyatakan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebakaran.</p> | III |
| <p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta gantrel kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin bada, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kecepas 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 (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur silang lain, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang dipertahankan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p> | IV |

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.12 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.2 Kelas Situs Tanah

Klasifikasi suatu situs berguna untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Pada Tabel 2.13 merupakan tabel klasifikasi situs tanah berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas pada SNI 1729:2019.

Tabel 2.13 Klasifikasi Situs

| Kelas situs | \bar{v}_s (m/detik) | \bar{N} atau \bar{N}_{60} | \bar{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 : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - 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 $\bar{s}_u < 50$ kPa | | |

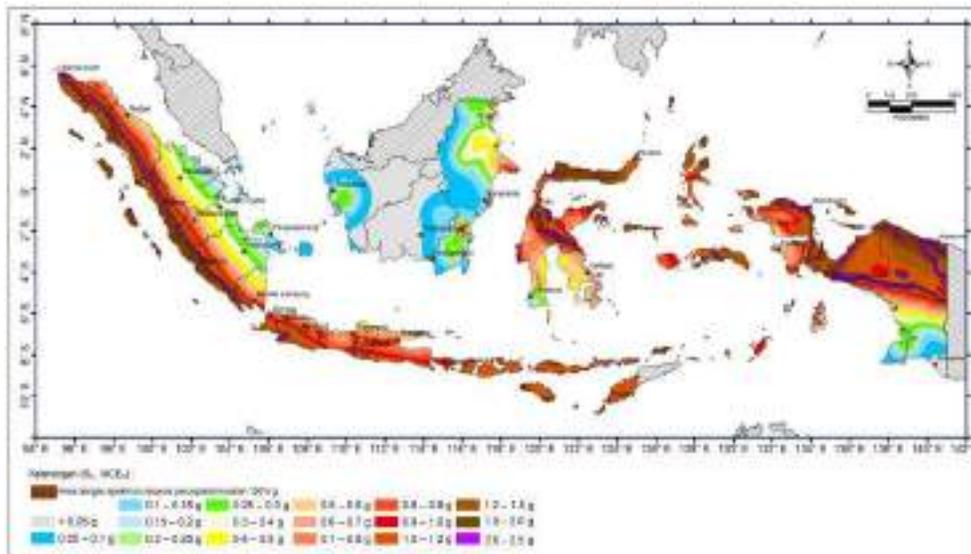
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019)

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.10.1 SNI 1726:2019. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs, maka situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF.

2.4.3 Wilayah Gempa di Indonesia

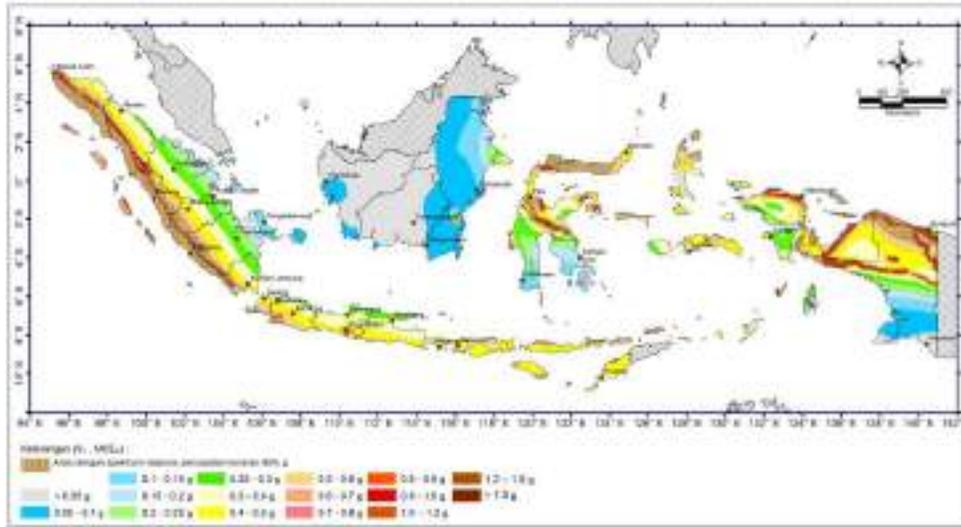
Pada SNI 1726:2019, Indonesia dibagi dalam beberapa wilayah gempa berdasarkan tingkat risiko kegempaan masing-masing. Pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 merupakan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake*, MCE_R). SNI 1726:2019 mendasarkan beban gempa desain sebagai dua per tiga beban gempa MCE_R (Imran dan Hemdrik, 2014). Peta-peta gempa tersebut dibuat berdasarkan pasal 4.1.1 SNI 1726:2019 yang menyebutkan bahwa gempa rencana dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2%, atau dengan periode ulang gempa selama 2500 tahun.



Gambar 2.4 Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksium Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5 %)

(Sumber: SNI 1726:2019)

Pada Gambar 2.4 adalah parameter gerak tanah S_s yang merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCE_R risiko-tertarget pada periode pendek dengan redaman kritis 5 %.



Gambar 2.5 Parameter Gerak Tanah S_1 , Gempa Maksium Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5 %) (Sumber: SNI 1726:2019)

Pada Gambar 2.5 adalah parameter gerak tanah S_1 yang merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCE_R risiko tertarget pada periode 1 detik dengan redaman kritis 5 %.

2.4.4 Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.13)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.14)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Dengan koefisien situs F_a ditunjukkan pada Tabel 2.14 dan koefisien situs F_v ditunjukkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.14 Koefisien Situs F_a

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s | | | | | |
|-------------|---|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s = 1,25$ | $S_s \geq 1,5$ |
| 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) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.15 Koefisien Situs F_v

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1 | | | | | |
|-------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_1 \leq 0,1$ | $S_1 = 0,2$ | $S_1 = 0,3$ | $S_1 = 0,4$ | $S_1 = 0,5$ | $S_1 \geq 0,6$ |
| 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, lihat 0

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.15)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.16)$$

2.4.6 Spektrum Respons Desain

Apabila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.6 dan mengikuti ketentuan berikut.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}\right) \quad (2.17)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.18)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.19)$$

Keterangan:

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

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

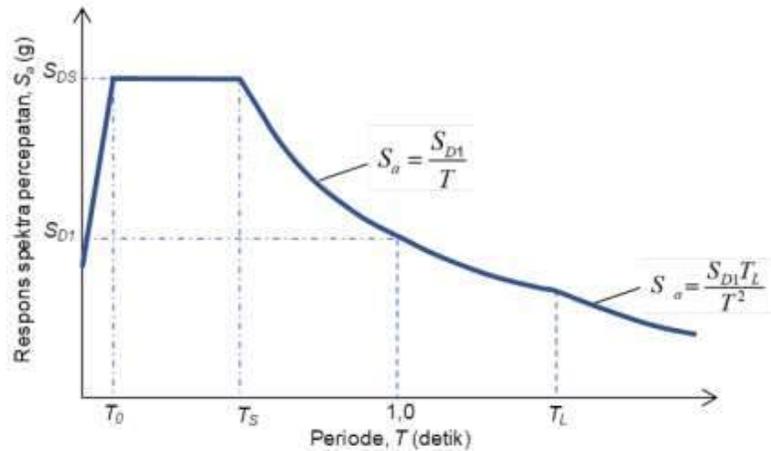
T = periode getar fundamental struktur.

Dimana:

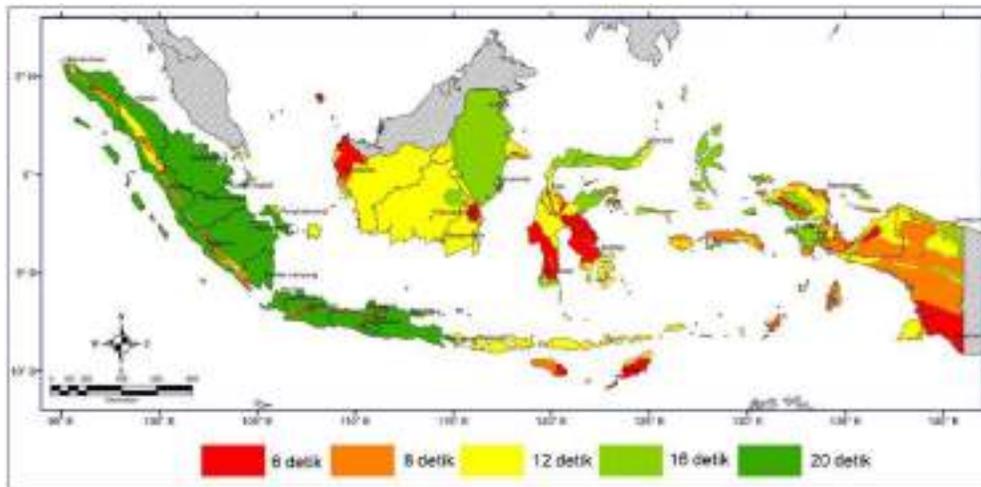
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.20)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.21)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 yang nilainya diambil dari Gambar 2.7 yang merupakan peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia



Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI 1276:2019)



Gambar 2.7 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI 1276:2019)

2.4.7 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang diatur dalam SNI 1276:2019. Bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam

kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.16 dan Tabel 2.17, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T.

Dalam menentukan kategori desain seismik apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada pasal 8 SNI 1726:2019, kategori desain seismik diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 2.16, dengan menggunakan nilai S_{DS} yang ditentukan dalam pasal 8.8.1 SNI 1726:2019.

Tabel 2.16 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 |

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.17 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

| Nilai S_{DS} | 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 |

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.8 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.18. Masing-masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur (hn), yang ditunjukkan pada Tabel 2.18. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.18 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut sebagaimana ditetapkan dalam SNI 1726:2019 yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Faktor R , C_d , Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

| Sistem pemikul gaya seismik | Koefisien modifikasi respons, R^a | Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b | Faktor perbesaran defleksi, C_d^c | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d | | | | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Kategori desain seismik | | | | |
| | | | | B | C | D ^e | E ^e | F ^f |
| G. Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5% | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Rangka balang baja pemikul momen khusus | 7 | 3 | 5% | TB | TB | 48 | 30 | Ti |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah | 4½ | 3 | 4 | TB | TB | 10 ^e | Ti ^e | Ti ^e |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa | 3½ | 3 | 3 | TB | TB | Ti ^f | Ti ^f | Ti ^f |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^g | 8 | 3 | 5% | TB | TB | TB | TB | TB |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4% | TB | TB | Ti | Ti | Ti |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | 2% | TB | Ti | Ti | Ti | Ti |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5% | TB | TB | TB | TB | TB |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4% | TB | TB | Ti | Ti | Ti |
| 10. Rangka baja dan beton komposit tekuk parsial pemikul momen | 6 | 3 | 5% | 48 | 48 | 30 | Ti | Ti |
| 11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa | 3 | 3 | 2% | TB | Ti | Ti | Ti | Ti |
| 12. Rangka baja cendil (single) pemikul momen khusus dengan pembuat ^g | 3½ | 3 ^h | 3½ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.9 Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan

Sebuah struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam SNI 1726:2019. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

1. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 2.19 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.19 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.19 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan | Pasal referensi | Penerapan kategori desain seismik |
|-----|--|---|--|
| 1a. | Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $\lambda_t = 1,0$, 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 diafragma kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 0 0 Tabel 16 0 | D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 1b. | Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $\lambda_t = 1,0$, 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 diafragma kaku atau setengah kaku. | 0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0 | E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D |
| 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. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 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 besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. | 0 Tabel 16 | D, E, dan F D, E, dan F |
| 4. | Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. | 0 0 0 0 Tabel 16 0 | B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 5. | Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. | 0 0 0 Tabel 16 0 | C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |

(Sumber: SNI 1726:2019)

2. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 2.20 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.20 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.20 Ketidakberaturan Vertikal

| | Tipe dan penjelasan ketidakberaturan | Pasal referensi | Penerapan kategori desain seismik |
|-----|--|--------------------|---|
| 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. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 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 tiga tingkat di atasnya. | 0 Tabel 16 | E dan F D, E, dan F |
| 2. | Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 3. | Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. | Tabel 16 | D, E, dan F |
| 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. | 0 0 Tabel 16 | B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F |
| 5a. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan 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 seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. | 0 Tabel 16 | E dan F D, E, dan F |
| 5b. | Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan 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 seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau. | 0 0 Tabel 16 | D, E, dan F B dan C D, E, dan F |

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.10 Redudansi

Faktor redundansi, ρ , harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik.

Struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sesuai Tabel 2.21, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismik desain E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. 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, di mana 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 2.21.
2. Struktur dengan denah beraturan 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 rangka ringan.

Tabel 2.21 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). |

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.11 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (2.22)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2.4.12 Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik (C_s), harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.23)$$

Keterangan:

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

R = koefisien modifikasi respons dalam Tabel 2.13

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (2.23) tidak perlu melebihi berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.24)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.25)$$

C_s tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.26)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.27)$$

Keterangan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan

2.4.13 Penentuan Periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.22 dan periode fundamental pendekatan, T_a . Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

Tabel 2.22 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.14 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.28)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

| Tipe struktur | C_t | x |
|--|--------|------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: | | |
| • 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 | 0,0466 | 0,75 |

(Sumber: SNI 1726:2019)

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m:

$$T_a = 0,1N \quad (2.29)$$

Keterangan:

N = jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_a , diizinkan menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.30)$$

dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari persamaan berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left[\frac{A_i}{1+0,83 \left(\frac{h_n}{D_i} \right)^2} \right] \quad (2.31)$$

Keterangan:

A_B = luas dasar struktur (m^2)

A_i = luas badan dinding geser ke-i (m^2)

D_i = panjang dinding geser ke-i (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

2.4.15 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.32)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.33)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain 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.

2.4.16 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.34)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

Geser tingkat desain seismik, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.4.17 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 2.19 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam Gambar 2.8 dan ditentukan dari persamaan berikut:

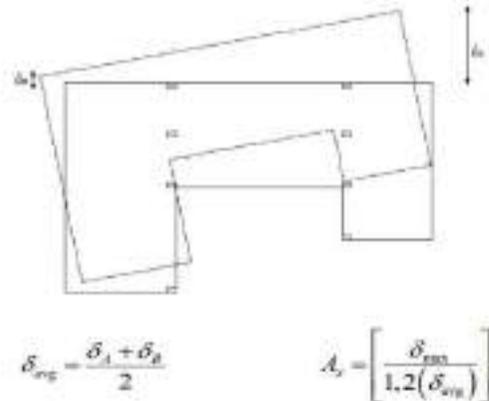
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (2.35)$$

Keterangan:

δ_{max} adalah perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

δ_{avg} adalah rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

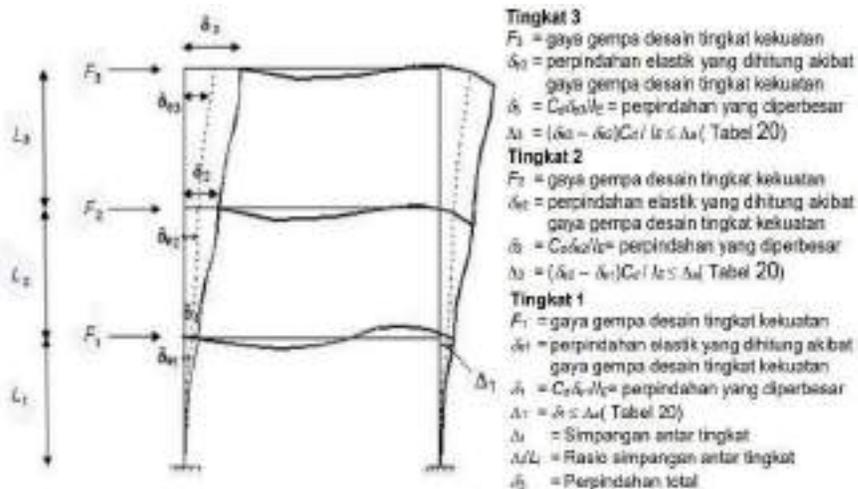
Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.



Gambar 2.8 Faktor Pembesaran Torsi, A_x
(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.18 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (Gambar 2.9). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.9 Penentuan Simpangan Antar Tingkat
(Sumber: SNI 1726:2019)

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 2.19, simpangan antar tingkat desain (Δ), harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.36)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 2.18

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

I_e = faktor keutamaan gempa

2.4.19 Batas Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat ijin (Δ_a) yang diuraikan pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Simpangan Antar Tingkat Ijin, Δ_a

| 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. | 0,025 h_{sx} ^c | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} |
| Semua struktur lainnya | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |

CATATAN

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

^b Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 0

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.4.20 Pengaruh P-delta

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:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.37)$$

Keterangan:

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

Δ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, 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 (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 2.18

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.38)$$

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.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, persamaan (2.38) tetap harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang dihitung dari persamaan (2.37) menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan persamaan (2.38).

2.4.21 Analisis Linear Dinamik Spektrum Respons Desain

1. Jumlah Ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

2. Parameter Respons Ragam

Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar tingkat harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e).

3. Parameter Respons Terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam yang berdekatan mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.

4. Skala Nilai Desain Untuk Respons Terkombinasi

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur.

a. Penskalaan Gaya

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang

dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana. V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

b. Penskalaan Simpangan

Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari $C_s W$, maka simpangan harus dikalikan dengan $C_s W/V_t$.

5. Distribusi Geser Horizontal

Distribusi geser horizontal harus sesuai dengan persyaratan, kecuali bahwa pembesaran torsi tidak disyaratkan bila pengaruh torsi tak terduga disertakan dalam model analisis dinamik.

6. Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta harus ditentukan sesuai. Geser dasar yang digunakan untuk menentukan geser tingkat dan simpangan antar tingkat harus ditentukan.

7. Reduksi Interaksi Tanah Struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diizinkan bila ditentukan menggunakan pasal 13.2.1.1 pada SNI 1726:2019 atau prosedur lainnya yang diterima secara umum yang disetujui oleh pihak berwenang.

8. Pemodelan Struktur

Model matematis dari struktur harus dibuat sesuai dengan pasal 7.7.3 SNI 1726:2019, kecuali semua struktur yang didesain sesuai dengan pasal ini harus dianalisis secara 3 dimensi. Bila diafragma tidak dikategorikan sebagai diafragma kaku sesuai persyaratan pasal 7.3.1.2 SNI 1726:2019, maka model yang dibangun harus merepresentasikan karakteristik kekakuan diafragma dan derajat kebebasan dinamik tambahan yang diperlukan agar dapat mewakili partisipasi diafragma dalam respons dinamik struktur.

2.5 Perencanaan Komponen Struktur Atas Bangunan Struktur Beton Bertulang

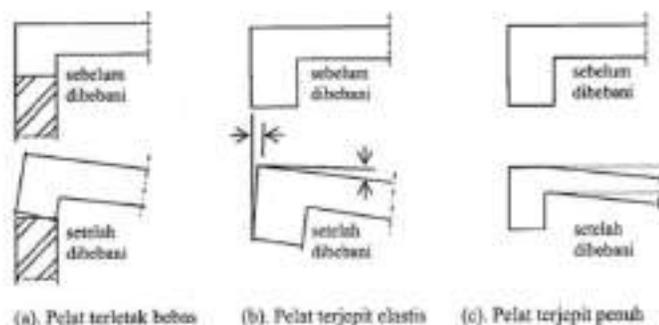
Tahap perencanaan sebelum menganalisis suatu struktur adalah perencanaan dimensi pelat, balok dan kolom yang disebut *preliminary design* yang mengacu pada SNI 2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.

2.5.1 Pelat

Pelat atau slab beton bertulang merupakan suatu sistem lantai atap yang paling banyak digunakan pada bangunan. Pelat merupakan komponen tipis yang menahan gaya-gaya transversal melalui aksientur ke masing-masing tumpuan (Dwi Kurniawati, 2020).

Menurut Asroni (2010) Terdapat 3 jenis perletakan pada pelat, yaitu:

1. Terletak Bebas
Keadaan ini terjadi jika pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut (Gambar 2.10 (a)).
2. Terjepit Elastis
Keadaan ini terjadi jika balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi pelat (Gambar 2.10 (b)).
3. Terjepit Penuh
Keadaan ini terjadi jika tumpuan mampu mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir (Gambar 2.10 (c)).



Gambar 2.10 Jenis-Jenis Perletakan Pelat

(Sumber: Asroni, 2010)

Berdasarkan kondisi tumpuannya, pelat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Pelat disebut satu arah apabila perbandingan panjang dan lebar pelat: $l_y/l_x > 2$. Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu hanya pada kedua sisi pelat yang berlawanan sehingga aksi struktural dari pelat umumnya bersifat satu arah. Karena itu sistem penulangan yang digunakan untuk pelat satu arah adalah penulangan satu arah.

Dalam SNI 2847:2019, perencanaan pelat satu arah adalah sebagai berikut:

a. Tebal minimum

Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu 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 2.25 kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan terpenuhi.

Tabel 2. 25 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 $f_c = 420$ MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

(Sumber: SNI 2847:2019)

Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.25 harus dikalikan dengan:

$$(0,4 + f_y / 700) \tag{2.39}$$

b. Kekuatan desain

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk:

$$\phi M_n \geq M_u \tag{2.40}$$

$$\phi V_n \geq V_u \tag{2.41}$$

Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

c. Batas penulangan

Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$, harus disediakan sesuai Tabel 2.26.

Tabel 2.26 $A_{s,min}$ Untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

| Tipe tulangan | f_y , MPa | $A_{s,min}$ | |
|----------------------------|-------------|----------------|-------------------------------------|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 A_g | |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari: | $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$ |
| | | | 0,0014 A_g |

(Sumber: SNI 2847:2019)

Luas minimum tulangan geser, $A_{v,min}$, harus disediakan pada semua penampang dimana $V_u > \phi V_c$. Untuk pelat pracetak berongga tanpa beton penutup $h > 315$ mm, $A_{v,min}$ harus disediakan di semua penampang dimana $V_u > 0,5\phi V_{cw}$.

Tulangan harus disediakan untuk menahan tegangan susut dan suhu. Penggunaan tulangan ulir untuk menahan susut dan suhu harus sesuai dengan Tabel 2.27.

Tabel 2.27 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 |

(Sumber: SNI 2847:2019)

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

d. Selimut beton

Ketebalan selimut beton harus sesuai dengan yang ditentukan pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28 Ketebalan Selimut Beton Untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang Yang Dicor di Tempat

| Paparan | Komponen struktur | Tulangan | Ketebalan Selimut, mm |
|---|---|---|-----------------------|
| Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah | Semua | Semua | 75 |
| Tepi paparan atau kontak dengan tanah | Semua | Batang D19 hingga D57 | 50 |
| | | Batang D16, Kawat ϕ 13 atau D13 dan yang lebih kecil | 40 |
| Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah | Pelat, pelat berusuk dan dinding | Batang D43 dan D57 | 40 |
| | | Batang D36 dan yang lebih kecil | 20 |
| | Balok, kolom, pedestal dan batang tarik | Tulangan utama, sengkang, sengkang kaku, spiral dan sengkang pengekan | 40 |

(Sumber: SNI 2847:2016)

e. Spasi antar tulangan

Dalam SNI 2847:2019 pasal 25.6, spasi minimum tulangan nonprategang yang sejajar pada satu lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm, d_b , dan $(4/3)d_{agg}$. Spasi maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm dan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $5h$ dan 450 mm.

2. Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Pelat disebut satu arah apabila perbandingan panjang dan lebar pelat: $l_y/l_x \leq 2$. Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai pada bentang dua arah. Dalam SNI 2847:2019, perencanaan pelat dua arah adalah sebagai berikut:

a. Tebal minimum

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 2.29.

Tabel 2.29 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

| 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 | $l_n/28$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/31$ | $l_n/34$ | $l_n/34$ |

(Sumber: SNI 2847:2019)

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 2.30.

Tabel 2.30 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok di Antara Tumpuan Semua Sisinya

| a_{tm} ^[1] | h minimum, mm | | |
|-------------------------|-----------------|---|-----------------------|
| $a_{tm} \leq 0,2$ | 8.3.1.1 berlaku | | (a) |
| $0,2 < a_{tm} \leq 2,0$ | Terbesar dari: | $l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$ | (b) ^{[2][3]} |
| | | $36 + 5\beta (a_{tm} = 0,2)$ | |
| | | 125 | (c) |
| $a_{tm} > 2,0$ | Terbesar dari: | $l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$ | (d) ^{[2][3]} |
| | | $36 + 9\beta$ | |
| | | 90 | (e) |

(Sumber: SNI 2847:2019)

b. Batas lendutan

Lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai dengan Tabel 2.31.

Tabel 2.31 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

| Jenis komponen struktur | Kondisi | Lendutan yang diperhitungkan | Batas lendutan |
|-------------------------|---|--|-----------------------|
| Atap datar | Tidak memikul atau tidak disalurkan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar | Lendutan seketika akibat L dan K maksimum | $l/180$ ¹⁾ |
| Lantai | | Lendutan seketika akibat L | $l/360$ |
| Atap atau lantai | Memikul atau disalurkan dengan elemen-elemen nonstruktural | Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar | $l/480$ ²⁾ |
| | Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar | Bagian dan lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ³⁾ | $l/240$ ⁴⁾ |

¹⁾ Batasan tidak dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap genangan air. Genangan air harus diperiksa berdasarkan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat genangan air, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang akibat beban tetap, beban hidup, toleransi konstruksi, dan keadaan sistem drainase.

²⁾ Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan 24.2.4, tapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum pemasangan elemen nonstruktural. Besarnya nilai lendutan ini harus dihitung berdasarkan data teknis yang dapat diterima terkait dengan karakteristik hubungan waktu-lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

³⁾ Batasan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditinjau atau disalurkan telah dilakukan.

⁴⁾ Batasan tak boleh melebihi batasan toleransi yang disediakan untuk elemen nonstruktural.

(Sumber: SNI 2847:2019)

c. Batasan regangan

Batasan regangan tulangan pelat nonprategang, ϵ_t sekurang-kurangnya adalah 0,004.

d. Kekuatan desain

Dalam SNI 2847:2019 untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, dan mencakup:

$\phi M_n \geq M_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah

$\phi M_n \geq \gamma_f M_{sc}$ dalam b_{pelat} seperti yang didefinisikan pada 8.4.2.3.3

$\phi V_n \geq V_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah

$\phi v_n \geq v_u$ pada penampang kritis yang didefinisikan pada 8.4.4.1 untuk geser dua arah

Hubungan antara pengaruh beban harus dipertimbangkan.

e. Batasan penulangan

Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$ harus disediakan di dekat muka tarik pada arah bentang yang ditinjau sesuai Tabel 2.32.

Tabel 2.32 $A_{s,min}$ Untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

| Jenis Tulangan | f_y , MPa | $A_{s,min}$, mm ² | |
|----------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Batang ulir | < 420 | 0,0020 f_y | |
| Batang ulir atau kawat las | ≥ 420 | Terbesar dari: | $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$ |
| | | | 0,0014 f_y |

(Sumber: SNI 2847:2019)

Untuk pelat solid nonprategang, spasi maksimum s tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari $2h$ dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari $3h$ dan 450 mm pada penampang lainnya.

f. Selimut beton

Selimut beton untuk tulangan harus sesuai Tabel 2.28.

g. Spasi antar tulangan

Spasi minimum tulangan nonprategang yang sejajar pada satu lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm, d_b , dan $(4/3)d_{agg}$. Spasi maksimum s untuk tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari $2h$ dan 450 mm pada penampang kritis dan yang terkecil dari $3h$ dan 450 mm pada penampang lainnya.

2.5.2 Balok

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal, sedangkan portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung (Asroni, 2010).

Umumnya beban yang bekerja pada balok berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir), sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (yang menahan beban geser dan torsi).

1. Dasar Perhitungan Kekuatan Lentur Ultimit Balok

SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4 mengizinkan penggunaan distribusi tegangan tekan persegi ekuivalen untuk perhitungan kekuatan ultimit sebagai berikut:

- a. Tegangan beton $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi rata terhadap zona tekan ekuivalen yang dibatasi ujung penampang dan garis yang paralel terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak a dari serat tekan terjauh, seperti persamaan berikut:

$$\alpha = \beta_1 c \quad (2.42)$$

- b. Jarak dari serat tekan terjauh sampai ke sumbu netral c , diukur secara tegak lurus dari sumbu netral.
- c. Nilai β_1 dinyatakan dalam Tabel 2.28.

Tabel 2.33 Nilai β_1 Untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen

| f'_c , MPa | β_1 | |
|------------------------|------------------------------------|----|
| $17 \leq f'_c \leq 28$ | 0,85 | a) |
| $28 < f'_c < 55$ | $0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$ | b) |
| $f'_c \geq 55$ | 0,65 | c) |

(Sumber: SNI 2847:201)

Kekuatan lentur dihitung sebagai berikut:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2.43)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.44)$$

Pada persamaan di atas tulangan diasumsikan leleh sebelum beton hancur. Syarat kesetimbangan $\rightarrow C = T$, maka:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.45)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.46)$$

Substitusi Persamaan (2.45) ke Persamaan (2.46) menghasilkan:

$$M_n = A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right) \quad (2.47)$$

2. Jenis-jenis Keruntuhan Lentur

Keruntuhan akibat lentur dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu:

- a. Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Pada keruntuhan ini, tulangan leleh sebelum beton mengalami kehancuran. Keruntuhan ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan yang kecil. Sistem penulangan balok yang mengalami keruntuhan ini disebut “*under-reinforced*”.

b. Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)

Pada keruntuhan ini, beton hancur sebelum tulangan leleh. Keruntuhan ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan yang besar. Sistem penulangan balok yang mengalami keruntuhan ini disebut “*over-reinforced*”.

c. Keruntuhan seimbang (*Balance Failure*)

Pada keruntuhan ini, beton hancur dan tulangan leleh secara bersamaan. Pada kondisi ini regangan leleh tulangan tarik yang dipasang terjadi bersamaan dengan regangan ultimit beton di serat tekan. Sistem penulangan balok seperti ini mempunyai tulangan yang seimbang.

3. Batas Desain

a. Tinggi Balok Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu 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 2.34 dibawah.

Tabel 2.34 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 sesuai dengan 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3, sebagaimana mestinya.

(Sumber: SNI 2847:2019)

Namun jika menggunakan f_y lebih dari 420 MPa, maka persamaan pada Tabel 2.34 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

b. Lebar Minimum Balok

Balok harus memenuhi:

- i. Bentang bersih, λ_n , harus minimal 4d.
- ii. Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari 0,3h dan 250 mm.
- iii. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.

c. Batas Lendutan

Berdasarkan SNI 2847:2019 batas lendutan terhitung untuk balok nonprategang dan untuk balok prategang tidak boleh melebihi batas pada Tabel 2.31.

d. Batas Regangan Tulangan Pada Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 batas regangan tulangan untuk balok nonprategang dengan $P_u < 0,10 f_c A_g$, ϵ_t sekurangnya 0,004.

4. Kekuatan Rencana

Dalam SNI 2847:2019 untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.48)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.49)$$

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.50)$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2.51)$$

Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

5. Batasan Penulangan

a. Tulangan Lentur Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2, $A_{s,min}$ tidak boleh kurang dari:

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.52)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.53)$$

b. Tulangan Geser Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 luas minimum tulangan geser $A_{v,min}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5\phi V_c$ kecuali untuk kasus pada Tabel 2.24. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v,min}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Tabel 2.35 Kasus dimana $A_{v,min}$ tidak diperlukan jika $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

| Tipe balok | Kondisi |
|---|---|
| Balok tipis | $h \leq 250$ mm |
| Menyatu dengan pelat | $h \leq$ terbesar dari $2,5r_f$ atau $0,5b_w$ dan $h \leq 600$ mm |
| Dibangun dengan beton bobot normal bertulangan serat baja sesuai 26.4.1.5.1(a), 26.4.2.2(d), dan 26.12.5.1(a) dan dengan $f_c' \leq 40$ MPa | $h \leq 600$ mm dan $V_u \leq \phi 0,17 \sqrt{f_c'} b_w d$ |
| Sistem pelat berusuk satu-arah | Sesuai dengan 9.8 |

(Sumber: SNI 2847:2019)

Jika tulangan geser diperlukan dan pengaruh torsional dapat diabaikan, $A_{v,min}$ harus sesuai dengan Tabel 2.36.

Tabel 2.36 Kebutuhan $A_{v,min}$

| Jenis balok | $A_{v,min}/s$ | | |
|--|----------------|--|--|
| Nonprategang dan prategang | Terbesar | $0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}}$ | (a) |
| dengan $A_{ps}/s < 0,4(A_{ps}/s + A_s/s)$ | dari: | $0,35 \frac{b_w}{f_{yt}}$ | (b) |
| Prategang dengan $A_{ps}/s \geq 0,4(A_{ps}/s + A_s/s)$ | Terkecil dari: | Terbesar dari: | $0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}}$ |
| | | | $0,35 \frac{b_w}{f_{yt}}$ |
| | | | $\frac{A_{ps} f_{pu}}{80 f_{yt} d} \sqrt{\frac{d}{b_w}}$ |

(Sumber: SNI 2847:2019)

c. Tulangan Torsi Minimum

Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan transversal minimum $(A_v + 2A_t)_{min}/s$ harus lebih besar dari:

$$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.54)$$

$$0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.55)$$

Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan longitudinal minimum $A_{t,min}$ harus lebih kecil dari:

$$0,42\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.56)$$

$$0,42\sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.57)$$

2.5.3 Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil (Dipohusudo, 1994).

Nawy (1998) mengklasifikasikan kolom berdasarkan hal-hal berikut:

1. Berdasarkan Bentuk dan Susunan Tulangan
 - a. Kolom segi empat atau bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
 - b. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
 - c. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya diletakkan di dalam selubung tulangan biasa.
2. Berdasarkan Posisi Beban
 - a. Kolom yang mengalami beban sentris, berarti kolom tidak mengalami momen lentur.
 - b. Kolom dengan beban eksentris, mengalami momen lentur selain juga gaya aksial.
3. Berdasarkan keruntuhan kolom

- a. Kolom pendek, apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton.
- b. Kolom panjang/langsing, apabila mengalami keruntuhan akibat tekuk.

Pemisahan atas kolom pendek dan kolom langsing didasari atas nilai rasio kelangsingan kolom yaitu (SNI 2847-2019 pasal 6.2.5):

- a. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \tag{2.58}$$

- b. Untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12(M_1/M_2) \tag{2.59}$$

dan

$$\frac{kl_u}{r} \leq 40 \tag{2.60}$$

Dimana M_1/M_2 adalah negatif jika kolom melentur dalam kurvatur tunggal, dan positif jika komponen struktur melentur dalam kurvatur ganda.

1. Kekuatan Aksial Atau Kombinasi Kekuatan Lentur dan Aksial

SNI 2847:2019 pasal 22.4 memberikan ketentuan kekuatan tekan aksial nominal P_n tidak boleh melebihi $P_{n,max}$ sesuai Tabel 2.37, dimana nilai P_o dihitung menggunakan Persamaan (2.61) untuk komponen nonprategang dan komponen komposit.

Tabel 2.37 Kekuatan Aksial Maksimum

| Komponen | Tulangan transversal | $P_{n,max}$ | |
|--|----------------------------------|-------------|----|
| Nonprategang | Sengkang persegi sesuai 22.4.2.4 | $0,80P_o$ | a) |
| | Spiral sesuai 22.4.2.5 | $0,85P_o$ | b) |
| Prategang | Sengkang persegi | $0,80P_o$ | c) |
| | Sengkang spiral | $0,85P_o$ | d) |
| Kolom komposit dan kolom beton sesuai Pasal 10 | Semua | $0,85P_o$ | e) |

(Sumber: SNI 2847:2019)

Untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja-beton, nilai P_0 dihitung dengan Persamaan:

$$P_0 = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_yA_{st} \quad (2.61)$$

Dimana A_{st} adalah luas total tulangan longitudinal nonprategang.

Nilai kekuatan nominal diatas harus dikalikan lagi dengan faktor reduksi untuk elemen struktur tekan, yaitu:

$\phi = 0,70$ untuk kolom dengan tulangan spiral

$\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan pengikat/sengkang.

2. Tipe Keruntuhan

Kriteria keruntuhan kolom dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Keruntuhan tarik (*Tension failure*), yaitu $P_n < P_{nb}$ atau $e > e_b$
- Keruntuhan seimbang (*Balanced failure*), yaitu $P_n = P_{nb}$
- Keruntuhan tekan (*Compression failure*), yaitu $P_n > P_{nb}$ atau $e < e_b$

3. Kekuatan Desain

Dalam SNI 2847:2019 untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2.62)$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.63)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.64)$$

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.65)$$

Interaksi antara efek beban harus dipertimbangkan.

4. Batasan Tulangan

a. Tulangan Longitudinal

SNI 2847:2019 pasal 10.6.1.1 memberikan batasan tulangan longitudinal minimum dan maksimum untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata $f_{pc} < 1,6$ MPa, luas tulangan longitudinal harus sekurang-kurangnya $0,01A_g$, namun tidak boleh melebihi $0,08A_g$.

b. Tulangan Geser Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019, luas minimum tulangan geser, $A_{v,min}$, harus disediakan di semua wilayah dimana $V_u > 0,5 \Phi V_c$. Bila tulangan geser diperlukan, $A_{v,min}$ harus lebih besar dari:

$$0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.66)$$

$$0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.67)$$

Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai Tabel 2.38.

Tabel 2. 38 Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

| V_s | Spasi maksimum, s, mm | | |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| | | Kolom nonprategang | Kolom prategang |
| $\leq 0,33 \sqrt{f'_c} \rho_u d$ | Terkecil dari: | $d/2$ | $3h/4$ |
| | | 600 | |
| $> 0,33 \sqrt{f'_c} \rho_u d$ | Terkecil dari: | $d/4$ | $3h/8$ |
| | | 300 | |

(Sumber: SNI 2847:2019)

5. Prosedur Desain Kolom Pendek

Secara garis besar langkah desain kolom pendek sebagai berikut:

- Memeriksa angka kelangsingan kolom dimana persyaratan angka kelangsingan maksimum sebesar 22 harus dipenuhi.
- Menentukan beban ultimit P_u dan momen ultimit (M_u), kemudian hitung eksentrisitas $e = M_u/P_u$.
- Menentukan dimensi kolom dan tulangan longitudinal.
- Memperkirakan rasio tulangan longitudinal yaitu antara 1 dan 4%.
- Menentukan rasio antara tinggi garis netral terhadap tinggi efektif penampang (c/d) untuk memberi batasan tipe keruntuhan kolom, maupun batas transisi antara terkontrol tekan dan terkontrol tarik.
- Memeriksa kapasitas penampang. Jika tidak memenuhi syarat, ulangi langkah 4 dan 5 sampai penampang mampu menahan beban terfaktor.
- Merencanakan tulangan lateral/sengkang.

2.5.4 *Joint* Balok-Kolom dan Pelat-Kolom

Dalam SNI 2847:2019 pasal 15 menjelaskan, hasil uji (Hanson dan Conner, 1967) menunjukkan bahwa daerah *joint* hubungan balok-kolom pada 41 interior bangunan tidak memerlukan tulangan geser jika *joint* dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh balok yang kedalamannya kira-kira sama. Namun, *joint* yang tidak terkekang dengan cara ini, seperti pada eksterior bangunan, memerlukan tulangan geser untuk mencegah kerusakan akibat retak geser (ACI 352R). *Joint* ini mungkin juga membutuhkan tulangan transversal untuk mencegah tekuk tulangan longitudinal kolom. Untuk daerah di mana gempa kuat dapat terjadi, *joint* mungkin diperlukan untuk menahan pembebanan bolak-balik yang mengembangkan kekuatan lentur dari balok yang bersebelahan.

Suatu *joint* balok-kolom dapat dianggap terkekang apabila dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh balok yang kedalamannya kira-kira sama. Suatu *joint* pelat-kolom dapat dianggap terkekang apabila dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh pelat.

1. Transfer Gaya Aksial Kolom Melalui Sistem Lantai

Apabila f'_c kolom lebih besar 1,4 kali dari f'_c sistem lantai, maka transfer gaya aksial melalui sistem lantai harus sesuai dengan:

- a. Beton dengan kekuatan tekan yang dispesifikasikan untuk kolom harus digunakan untuk lantai di lokasi kolom. Beton kolom harus digunakan untuk pelat sejauh jarak 600 mm dari muka kolom dan menyatu dengan beton pelat.
- b. Kekuatan rencana dari sebuah kolom melalui suatu sistem lantai harus dihitung menggunakan nilai terkecil antara kekuatan beton dengan dowel vertikal dan spiral yang diperlukan untuk mencapai kekuatan yang cukup.
- c. Untuk *joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang dapat diizinkan untuk menghitung kekuatan rencana kolom berdasarkan kekuatan beton asumsi pada *joint* tersebut. Angka kekuatan beton ini dapat diambil sebesar 75% dari kekuatan beton kolom ditambah

35% dari kekuatan beton pada lantai, dimana kekuatan beton kolom tidak boleh melebihi 2,5 kali kekuatan beton lantai.

2. Detail *Joint*

Joint balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang dan bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik, tidak perlu memenuhi ketentuan pada Persamaan (2.67) dan persamaan (2.68) untuk tulangan transversal. Luas kaki tulangan transversal pada setiap arah utama *joint* balok-kolom dan pelat-kolom harus diambil nilai terbesar dari:

$$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.67)$$

$$0,35 \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.68)$$

dimana b adalah dimensi bagian kolom tegak lurus terhadap arah yang ditinjau.

- a. Pada *joint* balok-kolom dan pelat-kolom, luas tulangan transversal yang dihitung harus didistribusikan sepanjang tinggi kolom tidak kurang dari balok tertinggi atau elemen pelat yang merangka ke kolom.
- b. Untuk *joint* balok-kolom, spasi tulangan transversal s tidak boleh melebihi setengah tinggi dari balok dengan tinggi terkecil.
- c. Jika tulangan longitudinal balok atau kolom disambung atau diputus pada *joint*, tulangan transversal tertutup berdasarkan pasal 10.7.6 SNI 2847:2019 harus disediakan pada *joint*, kecuali daerah *joint* terkekang.
- d. Penyaluran tulangan longitudinal yang berakhir pada *joint* harus berdasarkan pasal 25.4 SNI 2847:2019.

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

2.6.1 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

1. Batasan Dimensi

Balok harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. Bentang bersih, l_n , harus minimal $4d$.

- b. Lebar penampang, b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- c. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing kolom.

2. Tulangan Longitudinal

- a. Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Pada sebarang penampang, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan, dan rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi $0,025$, baik untuk tulangan atas maupun bawah.
- b. Kekuatan momen positif pada muka *joint* harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka *joint* tersebut. Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua *joint*.
- c. Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengekang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi dalam *joint*, dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint* dan dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

3. Tulangan Transversal

- a. Sengkang pengekang harus dipasang pada balok di daerah berikut:
 - i. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok.

- ii. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.
- b. Bila diperlukan sengkang pengekang, batang tulangan longitudinal utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberi tumpuan lateral. Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm. Tulangan longitudinal samping yang disyaratkan tidak perlu tertumpu secara lateral.
- c. Sengkang pengekang pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan: yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempal pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur. Jika batang tulangan longitudinal yang ditahan oleh ikat silang dikekang oleh pelat hanya pada satu sisi komponen struktur lentur, maka kait 90 derajat dari ikat silang harus ditempatkan pada sisi tersebut.
- d. Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
 - i. $d/4$.
 - ii. Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping.
 - iii. 150 mm.

4. Kekuatan Geser

- a. Gaya geser desain V_e 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* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

- b. Tulangan transversal sepanjang daerah harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua a dan b terpenuhi:
 - i. Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
 - ii. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c/20$.

2.6.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

1. Batasan Dimensi

Kolom harus memenuhi persyaratan berikut.

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

2. Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan berikut.

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (2.69)$$

Dimana:

ΣM_{nc} adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

ΣM_{nb} adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

3. Tulangan longitudinal

- a. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.
- b. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

4. Tulangan transversal

- a. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang 10 muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang 10 tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
- i. Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi 46
 - ii. Seperenam tinggi bersih kolom
 - iii. 450 mm
- b. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:
- i. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
 - ii. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - iii. s_o , yang dihitung dengan

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2.70)$$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak boleh kurang dari 100 mm

- c. Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 2.39. Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekangan k_n dihitung berdasarkan:

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1 \quad (2.71)$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \quad (2.72)$$

Dimana n_l adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekang atau kait seismik.

Tabel 2.39 Tulangan Transversal Untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

| Tulangan transversal | Kondisi | Persamaan yang berlaku |
|---|--|----------------------------------|
| A_{sv}/bh_c untuk sengkang pengekang persegi | $P_u \leq 0,3A_g f_c$ dan $f_c' \leq 70$ MPa | Terbesar antara (a) dan (b) |
| | $P_u > 0,3A_g f_c$ atau $f_c' > 70$ MPa | Terbesar antara (a), (b) dan (c) |
| ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran | $P_u \leq 0,3A_g f_c$ dan $f_c' \leq 70$ MPa | Terbesar antara (d) dan (e) |
| | $P_u > 0,3A_g f_c$ atau $f_c' > 70$ MPa | Terbesar antara (d), (e) dan (f) |

(Sumber: SNI 2847:2019)

2.6.3 Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

1. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_v$.
2. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (*normal weight*). Untuk beton ringan (*light weight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
3. Tinggi *joint* h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada *joint* tersebut dan yang menyebabkan geser pada *joint* sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.
4. Kekuatan geser V_n *joint* harus sesuai Tabel 2.40.

Tabel 2.40 Kekuatan Geser Nominal Joint V_n

| Konfigurasi Joint | V_n |
|---|----------------------------|
| Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya ⁽¹⁾ | $1,72\sqrt{f'_c}A_j^{(2)}$ |
| Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ⁽¹⁾ | $1,22\sqrt{f'_c}A_j^{(2)}$ |
| Untuk kasus-kasus lainnya | $1,02\sqrt{f'_c}A_j^{(2)}$ |

⁽¹⁾ Mengacu pada 18.8.4.2

⁽²⁾ λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Nilai A_j berdasarkan 18.8.4.3

(Sumber: SNI 2847:2019)

5. Luas penampang efektif dalam suatu joint, A_j , harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom, h . Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
 - a. Lebar balok ditambah tinggi *joint*
 - b. Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.
6. Panjang penyaluran tulangan tarik:
 - a. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran l_{dh} harus dihitung berdasarkan Persamaan (2.48). Untuk beton normal, l_{dh} yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm.

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f'_c}} \quad (2.73)$$

Nilai λ adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam *joint*.

- b. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik l_d untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
 - i. 2,5 kali panjang sesuai butir a) bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm.
 - ii. 3,25 kali panjang sesuai butir a) bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
- c. Tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian l_d yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.