

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Gedung

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, Sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/ atau di dalam tanah dan/ atau air, yang berfungsi sebagai tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun khusus (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 tentang Bangunan Gedung, 2002: 1). Adapun penjelasan mengenai fungsi dari bangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Hunian

Bangunan gedung fungsi hunian meliputi bangunan gedung untuk rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah susun, dan rumah tinggal sementara. Pembuatan bangunan rumah tinggal bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan papan atau tempat tinggal. Oleh karena itu, pembuatan bangunan ini harus memperhatikan faktor keamanan dan kenyamanannya.

2. Fungsi Keagamaan

Bangunan gedung fungsi keagamaan meliputi masjid, gereja, pura, vihara, dan kelenteng. Semua bangunan ini ditunjukan untuk memenuhi kebutuhan batin manusia sebagai makhluk yang memiliki Tuhan. Bangunan peribadatan biasanya digunakan sebagai tempat beribadah dan upacara keagamaan.

3. Fungsi Usaha

Bangunan dengan fungsi sebagai usaha didirikan untuk mendukung aktifitas komersial meliputi jual, beli, dan sewa. Bangunan komersial ditunjukan untuk keperluan bisnis sehingga faktor lokasi yang strategis memegang peranan penting bagi kesuksesan bangunan tersebut. Bangunan gedung fungsi usaha meliputi bangunan gedung untuk perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal, dan penyimpanan.

4. Fungsi Sosial dan Budaya

Mempunyai fungsi utama sebagai tempat melakukan kegiatan sosial dan budaya yang meliputi bangunan gedung untuk pendidikan, kebudayaan, pelayanan kesehatan, laboratorium, dan pelayanan umum.

5. Fungsi Khusus

Mempunyai fungsi sebagai tempat melakukan kegiatan yang mempunyai tingkat kerahasiaan tinggi tingkat nasional atau yang penyelenggaraannya dapat membahayakan masyarakat di sekitarnya dan/atau mempunyai resiko bahaya tinggi yang meliputi bangunan gedung untuk reaktor nuklir, instalasi pertahanan dan keamanan, dan bangunan sejenis yang diputuskan oleh menteri.

2.2 Perkantoran

Persyaratan teknis bangunan dan prasarana perkantoran harus memenuhi standar pelayanan, keamanan, serta keselamatan . Persyaratan bangunan perkantoran meliputi persyaratan administratif, teknis bangunan gedung pada umumnya dan teknis bangunan tersebut.

Struktur bangunan perkantoran harus direncanakan dan dilaksanakan dengan sebaik mungkin agar kuat, kokoh, dan stabil dalam memikul beban atau kombinasi beban dan memenuhi persyaratan keselamatan, serta memenuhi persyaratan kelayakan selama umur bangunan dengan mempertimbangkan fungsi bangunan perkantoran. Kemampuan memikul beban baik beban tetap maupun beban sementara yang mungkin bekerja selama umur layanan struktur harus diperhitungkan. Struktur bangunan perkantoran harus direncanakan terhadap pengaruh gempa sesuai dengan standar teknis yang berlaku.

2.3 Portal

Portal adalah struktur rangka utama dari gedung yang harus mampu menahan beban-beban yang bekerja baik beban mati, beban hidup, maupun beban sementara. Portal merupakan suatu sistem struktur kerangka yang terdiri dari rakitan elemen struktur yang berupa beton bertulang, elemen balok, kolom atau dinding geser. Secara umum portal dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Portal Tak Bergoyang

Portal tak bergoyang (*braced frame*) didefinisikan sebagai portal dimana tekuk goyangan dicegah oleh elemen-elemen topangan struktur tersebut dan bukan oleh portal itu sendiri. Portal tak bergoyang mempunyai sifat sebagai berikut:

- a. Portal tersebut simetris dan bekerja beban simetris.
- b. Portal yang mempunyai kaitan dengan konstruksi lain yang tidak dapat bergoyang.

2. Portal Bergoyang

Portal bergoyang didefinisikan sebagai portal dimana tekuk goyangan dicegah oleh portal itu sendiri. Suatu portal dikatakan bergoyang jika:

- a. Beban yang tidak simetris yang bekerja pada portal yang simetris atau tidak simetris.
- b. Beban simetris yang bekerja pada portal yang tidak simetris.

2.4 Konsep Analisis Struktur

Analisis struktur adalah suatu proses menentukan respons suatu struktur terhadap berbagai kemungkinan beban yang akan bekerja selama masa pelayanannya. Respons struktur dinyatakan dengan gaya-gaya yang terjadi didalam struktur dan deformasi yang dialami. Perubahan bentuk (deformasi) komponen-komponen struktur haruslah tidak berlangsung meningkat tanpa batas dan segera lenyap begitu aksi-aksi beban berakhir. Material struktur harus berperilaku elastis sampai batas perubahan bentuk tertentu, meski tidak ada satupun yang bersifat elastis sempurna sepenuhnya apalagi jika harus bekerja di bawah beban yang cukup besar.

2.4.1 Derajat Kebebasan Gerak

Informasi perpindahan titik-titik buhul adalah fakta aktual yang diperlukan untuk memperhitungkan deformasi ujung-ujung batang yang terikat kepadanya, sehingga pola gerak titik-titik buhul dalam tubuh struktur merupakan hal penting. Perkiraan ragam deformasi ujung-ujung batang merupakan pusat perhatian sejak langkah dini meskipun sejauh ini cara perlakuan analitiknya belum dibahas. Spesifikasi nilai-nilai numerik struktural (dimensi), sistem pembebanan yang bekerja, dan sifat-sifat material (komponen), merupakan penentu respons unik bagi setiap struktur. Dengan berdasar pada informasi tersebut sebenarnya mencukupi

untuk dapat menentukan respons lengkap dari setiap komponen, berarti juga untuk keseluruhan struktur.

Secara umum cacah generalisasi perpindahan titik-titik buhul individual lazim dinamakan derajat kebebasan gerak. Posisi tiap titik buhul dalam struktur aktual diukur dari sistem koordinat 3 sumbu cartesian dan perputaran relatif terhadap ketiga arah sumbu orthogonal itu sebagai acuan. Sehingga jika tidak terhalang oleh adanya dukungan, sebarang titik buhul di dalam struktur ruang disebut sebagai titik buhul bebas penuh yang memiliki 6 derajat kebebasan. Kecuali jika terjadi hambatan, keenam perpindahan berlangsung bebas dalam arti setiap pergerakannya mandiri tidak saling mengganggu satu sama lain. Sebagai bagian dari langkah analisis, model idealisasi struktur aktual lazim digambar dalam wujud diagram skematik. Akan tetapi seringkali keenam derajat kebebasan gerak tidak bisa muncul lengkap dengan diagram. Secara umum, ketidaklengkapan visualisasi karena model idealisasi gagal untuk menggambarkan struktur rangka ruang yang seharusnya dan diabaikannya deformasi-deformasi tertentu karena terlalu kecil untuk diperhitungkan. Pemahaman yang terkait dengan kedua penyebab tersebut merupakan hal penting demi keberhasilan di dalam penyusunan model struktur yang memadai.

2.4.2 Anggapan-Anggapan

Teknik-teknik analisis jenjang elementer dibatasi hanya untuk struktur dengan pembebanan statis yang tidak tergantung waktu, materialnya berperilaku linear, elastis, dan diselesaikan dengan analisis orde pertama menurut jenjang matematisnya. Hasil-hasil akhir analisis berupa respons struktur hanya untuk memberikan nilai-nilai deformasi perpindahan dan lendutan yang terbatas (kecil) saja. Untuk itu diperlukan anggapan-anggapan sebagai batasan yang harus disertakan didalam analisis. Sungguhpun anggapan-anggapan tersebut sebenarnya tidak sesuai untuk hampir semua jenis material non-metal, maupun pengamalan yang didapat dari penerapan pada berbagai jenis struktur selama ini menunjukkan bahwa teknik tersebut masih memberikan hasil yang cukup memadai. Sementara itu, bagi kasus-kasus lendutan besar atau kondisi-kondisi lain yang menggunakan model matematik yang lebih kompleks memerlukan pembahasan dan cara penyelesaian tersendiri.

2.4.3 Tiga Kriteria Dasar

Kesemua metode analisis struktur diturunkan dan merujuk pada tiga konsep fundamental sehingga respons struktur harus memenuhi beberapa kriteria yaitu sebagai berikut:

1. Perilaku tahanan-regangan material sebatas dalam lingkup hukum-hukum pokok material
2. Mekanisme keseimbangan statika
3. Kondisi-kondisi kesesuaian geometrik

Penerapan konsep-konsep tersebut pada model skematik akan menentukan dasar-dasar analisis struktur.

2.4.4 Ketidaktentuan Statika dan Kinematika

Dipandang dari segi penerapan hukum-hukum statika yang dipakai sebagai titik tolak dan dasar analisis struktur dibedakan atas dua keadaan yaitu statis tertentu dan statis tak tentu. Sesuai dengan hukum Newton, penerapan persamaan keseimbangan statika pada seluruh struktur atau setiap komponennya secara konsisten dapat menghitung gaya-gaya reaksi dukungan eksternal dan resultan tegangan-tegangan internal di dalam batang. Kemudian secara sederhana dapat didefinisikan bahwa jika segenap aksi-aksi gaya dan reaksi-reaksi dukungan dapat ditentukan hanya dengan didasarkan pada keseimbangan statika, struktur tergolong sebagai tipe statis tertentu. Kondisi statika tertentu dapat terjamin dengan memasang dukungan-dukungan yang tidak membangkitkan lebih dari 3 gaya reaksi, seperti pasangan sendi dan rol pada balok sederhana atau dukungan jepit kaku melekat di pangkal balok kantilever dengan keadaan bebas di ujungnya. Sehingga kesemua reaksi, gaya-gaya internal, diagram geser dan momen, dapat ditentukan dengan menerapkan keseimbangan statika. Apabila persamaan keseimbangan statika tidak mencukupi untuk menyelesaikannya maka termasuk sebagai struktur statis tidak tertentu.

Selanjutnya jika terdapat lebih banyak reaksi-reaksi dukungan eksternal yang harus dicari nilainya ketimbang cacah persamaan statika yang ada, struktur digolongkan statis tidak tertentu secara eksternal. Ketidaktentuan eksternal tergantung pada cacah kelebihan gaya-gaya reaksi dukungan dalam struktur. Dalam

kondisi normal, tersedia 6 persamaan keseimbangan statika untuk penentuan reaksi-reaksi pada struktur ruang dan 3 persamaan pada struktur bidang. Oleh karenanya apabila pada suatu struktur ruang terdapat lebih dari 6 gaya reaksi dukungan dan pada struktur bidang lebih dari 3 gaya reaksi, maka struktur itu termasuk statis tidak tertentu secara eksternal. Sementara jika terdapat lebih banyak aksi-aksi gaya batang internal ketimbang yang dapat diselesaikan dengan memakai persamaan statika, termasuk statis tidak tertentu secara internal. Ketidaktentuan internal tergantung pada cacah kelebihan gaya resultan tanganan dalam batang-batang yang tidak dapat diselesaikan, sehingga kasusnya lebih sering dijumpai pada kasus struktur rangka batang. Bisa jadi disertai pula dengan kondisi di mana hanya sebagian reaksi dukungan saja yang dapat ditentukan, atau dengan kata lain sekaligus adalah statis tidak tertentu secara eksternal. Di masa lalu lebih sering dinyatakan secara sederhana yakni statis tidak tertentu tanpa harus dibedakan ketidaktentuannya secara internal, eksternal atau bahkan bisa jadi kedua-duanya. Hal demikian hanya karena penentuan deformasi (perubahan bentuk) dianggap tidak membutuhkan persamaan lain lagi yang merupakan analogi dari keseimbangan statika.

Pada struktur statis tertentu seperti sistem balok sederhana atau rangka batang (dengan sambungan sendi) interaksi aksi-aksi di dalam batang hanya tergantung pada geometri dan pembebanan, tanpa terpengaruh oleh dimensi penampang lintang batangnya. Sementara untuk statis tidak tertentu, aksi-aksi batang dan perpindahan titik-titik buhul selain merupakan fungsi dari geometri struktur global dan pembebanan, juga dimensi penampang lintang batang-batangnya. Perubahan dimensi dari batang tertentu akan mengubah pula aksi-aksi dalam batang bahkan juga batang-batang lain yang berhubungan dengannya. Panjang siklus iterasi yang diperlukan dalam analisis tergantung pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Keterampilan dalam memilih dimensi batang baru
2. Batas-batas jenjang ketelitian perancangan yang dapat diterima
3. Tipe atau macam struktur yang dihadapi.

Sesungguhnya ketertentuan statika tidak dengan sendirinya selalu terdapat pada berbagai macam struktur pada umumnya. Sehingga hakekatnya mengubah suatu struktur menjadi statis tertentu cenderung menggambarkan upaya pendekatan

agar analisis dapat diselesaikan dengan memakai persamaan-persamaan keseimbangan statika.

2.4.5 Perubahan Bentuk

Analisis struktur adalah memperkirakan perilaku sistem struktur ketika memberikan respons terhadap pembebanan. Pada struktur rangka, analisis melibatkan sejumlah perilaku kompleks sederet batang-batang individual menuju ke bentuk geometrik yang berubah. Kesemuanya itu dikerjakan dengan menggunakan model-model idealisasi. Model ideal suatu komponen adalah gambar skematis yang mewakili konfigurasi fisik, hukum-hukum pokok material dan konsep-konsep matematik yang dipakai dalam memperkirakan respons. Dalam memilih dasar teori matematik untuk diterapkan dalam analisis, memerlukan anggapan-anggapan tertentu berkaitan dengan perilaku material deformasi geometrik. Dengan melalui anggapan-anggapan tersebut biasanya lantas dicapai pengurangan jenjang matematik yang diperlukan.

Dampak pembebanan terhadap struktur adalah munculnya tegangan-tegangan dan regangan-regangan dalam berbagai komponennya. Gaya-gaya internal di dalam komponen merupakan dampak dari tegangan-tegangan yang terintegrasi, dan kemunculan gaya-gaya itu demi untuk mempertahankan keseimbangan statika keseluruhan struktur. Sedangkan dampak dari berbagai regangan yang terintegrasi menentukan deformasi komponen-komponen. Konsekuensi untuk memahami perilaku dan perubahan bentuk struktur selengkapnya, memerlukan penguasaan perilaku deformasi masing-masing komponen secara individual terlebih dahulu. Sehingga memperkirakan respons setiap komponen ketika menahan beban merupakan inti dari analisis struktur sistem rangka secara keseluruhan.

2.4.6 Dasar-Dasar Teori Kerja dan Energi

Suatu struktur dapat dipandang sebagai bangun fisik tersusun dari komponen-komponen atau batang-batang yang saling disambungkan di dalam ruang. Ketika menyangga aksi-aksi beban eksternal, tubuh struktur harus memberikan respons dalam perilaku yang konsisten dengan hukum-hukum dasar fisika. Sehingga kesemua upaya penjabaran perilaku struktur pada hakekatnya dikembangkan

dengan tetap bersumber pada konsep kerja dan energi, secara konsisten. Kondisi yang mendasari konsep adalah bahwa kesatuan sistem tertutup yang terdiri dari tubuh struktur beserta segenap gaya-gaya yang bekerja kepadanya harus mengikuti hukum-hukum konservasi kerja dan energi. Dengan demikian, kerja yang diberikan oleh aksi-aksi eksternal ke dalam sistem struktur elastik sama besarnya dengan energi regangan yang ditumbuhkan secara internal di dalam sistem. Dengan kata lain, kerja yang dilimpahkan oleh aksi-aksi beban ke dalam sistem tertutup harus diimbangi dengan jumlah energi regangan yang setara. Akan tetapi pembangkitan energi di dalam struktur biasanya tidak berlangsung sepenuhnya hingga mencapai energi total, karena ada sebagian yang meninggalkan sistem (energi hilang).

2.4.7 Fleksibilitas dan Kekakuan

Penentuan aksi-aksi gaya (eksternal dan internal) dan perpindahan, sekaligus keterkaitan di antara keduanya, merupakan permasalahan utama dalam setiap analisis struktur. Karena bentuk hubungannya langsung, cara terbaik untuk mengungkapkan keterkaitan aksi-aksi dengan perpindahan sebagai dampaknya disusun dalam bentuk persamaan-persamaan. Sumber gagasan konsep pendekatan fleksibilitas dan kekakuan berdasarkan dan bermula dari pengembangan keterkaitan antara aksi-aksi gaya dengan perpindahan yang diakibatkannya.

2.5 Metode Desain

Konsep desain berisikan tentang dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan konfigurasi bangunan, pemilihan material, pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah, serta sistem pelaksanaan. sebagaimana yang telah ditentukan konsep desain atau perencanaan pada gedung dengan menggunakan konsep desain kapasitas (*capacity design*).

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Analisis statis digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter. Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya-

gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhankan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- a. Gedung-gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- b. Gedung-gedung dengan loncatan-loncatan bidang muka yang besar
- c. Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- d. Gedung-gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter

Metode ini ada dua jenis yaitu analisis respon dinamik riwayat waktu (*time history analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan analisis ragam spektrum respon (*spectrum modal analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dan spektrum respon rencana (*design spectra*).

Dalam merencanakan struktur gedung tingkat tahan gempa sebaik mungkin di desain agar tidak terjadi keruntuhan total. Untuk menghindari terjadinya keruntuhan total ada beberapa hal yang dapat diusahakan yaitu sebagai berikut:

- a. Merencanakan mekanisme keruntuhan yang aman, yaitu *beam side sway mechanism*.
- b. *Beam Side Sway Mechanism* hanya dapat dicapai bila kekuatan kolom lebih besar dari kekuatan balok, sehingga sendi plastis terjadi di balok (*capacity design, strong column weak beam*).
- c. Sendi plastis hanya dapat terbentuk bila suatu penampang yang diharapkan terjadi sendi plastis dapat berperilaku secara daktil tanpa terjadi kehilangan kekakuan (*pinching*) dan kegagalan geser, dengan

demikian kapasitas geser balok harus lebih besar dari kapasitas lentur aktualnya.

- d. Pendetailan Digambar dan dilaksanakan dengan baik. Pelaksanaan yang baik jauh lebih penting dari perhitungan yang baik.

2.6 Pembebanan

Bangunan dengan struktur yang baik harus dapat menahan beban-beban yang akan diterima pada bangunan tersebut sesuai dengan peraturan-peraturan yang digunakan pada perencanaan gedung tersebut. Beban-beban tersebut telah dijelaskan didalam SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

2.6.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 2020: 20).

Tabel 2. 1 Berat Jenis Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Berat (kN/m ³)
1	Beton Bertulang	24

Tabel 2. 2 Berat Jenis Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Berat (kN/m ²)
1	Adukan, per cm tebal, dari semen	0,21
2	Dinding pasangan batako berlubang, tebal 10 cm (HB 10 cm)	1,20
3	Mekanikal dan Elektrikal	0,25
4	Penutup lantai tanpa adukan, per cm tebal lantai	0,24
5	Plafon dan Rangka	0,18

2.6.2 Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti

beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 2020: 23).

Tabel 2. 3 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 diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (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)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 2. 4 (Lanjutan) Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo Dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Lembaga hukum					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tempat rekreasi					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Tabel 2. 5 (Lanjutan) Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo Dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, l_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari 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)	

Tabel 2. 6 (Lanjutan) Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo Dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
<i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai di atasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber: SNI 1727 Tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 2020: 25-28

2.6.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. 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 pada SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

2.6.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Penjelasan lebih lanjut mengenai beban gempa terdapat pada SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

1. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai **Tabel 2.7**, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut **Tabel 2.9**. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2. 7 Kategori Risiko Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 2. 8 (Lanjutan) - Kategori Risiko Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<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 garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan 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 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 24 – 25

Tabel 2. 9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

2. Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan **Tabel 2.10** berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain

geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\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		

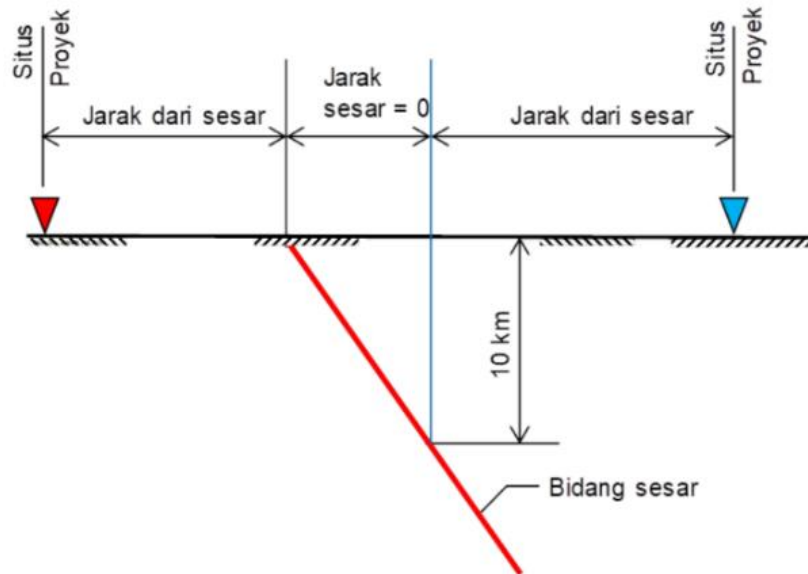
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 29 – 30

Untuk parameter kelas situs yang terdapat pada tabel di atas seperti kecepatan rata-rata gelombang geser (\bar{v}_s), tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (\bar{N}) dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah nonkohesif (\bar{N}_{ch}), serta kuat geser niralir rata-rata (\bar{s}_u) diatur dalam Pasal 5.4 SNI 1726-2019.

3. Parameter Percepatan Gempa

Parameter percepatan gempa terdiri dari situs dekat sesar, parameter percepatan terpetakan, dan kelas situs. Penjelasan mengenai parameter-parameter tersebut terdapat pada Pasal 6.1.1 sampai 6.1.3 SNI 1726-2019.



Gambar 2. 1 Jarak Patahan Untuk Berbagai Lokasi Situs Proyek

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 33

4. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Untuk 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 ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (2.2)$$

Keterangan:

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

S_I = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Tabel 2. 11 Koefisien Situs (Fa)

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: SS adalah situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2. 12 Koefisien Situs (Fv)

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

Catatan: SS adalah situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{DI}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{MI} = Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

6. Spektrum Respons Desain

Bila 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 2.2** dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

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 dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.7)$$

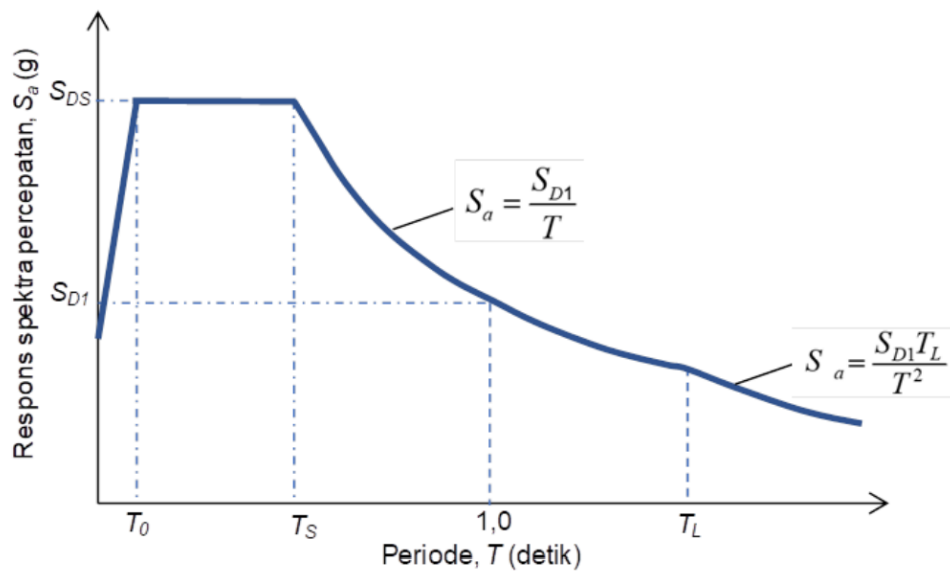
Keterangan:

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

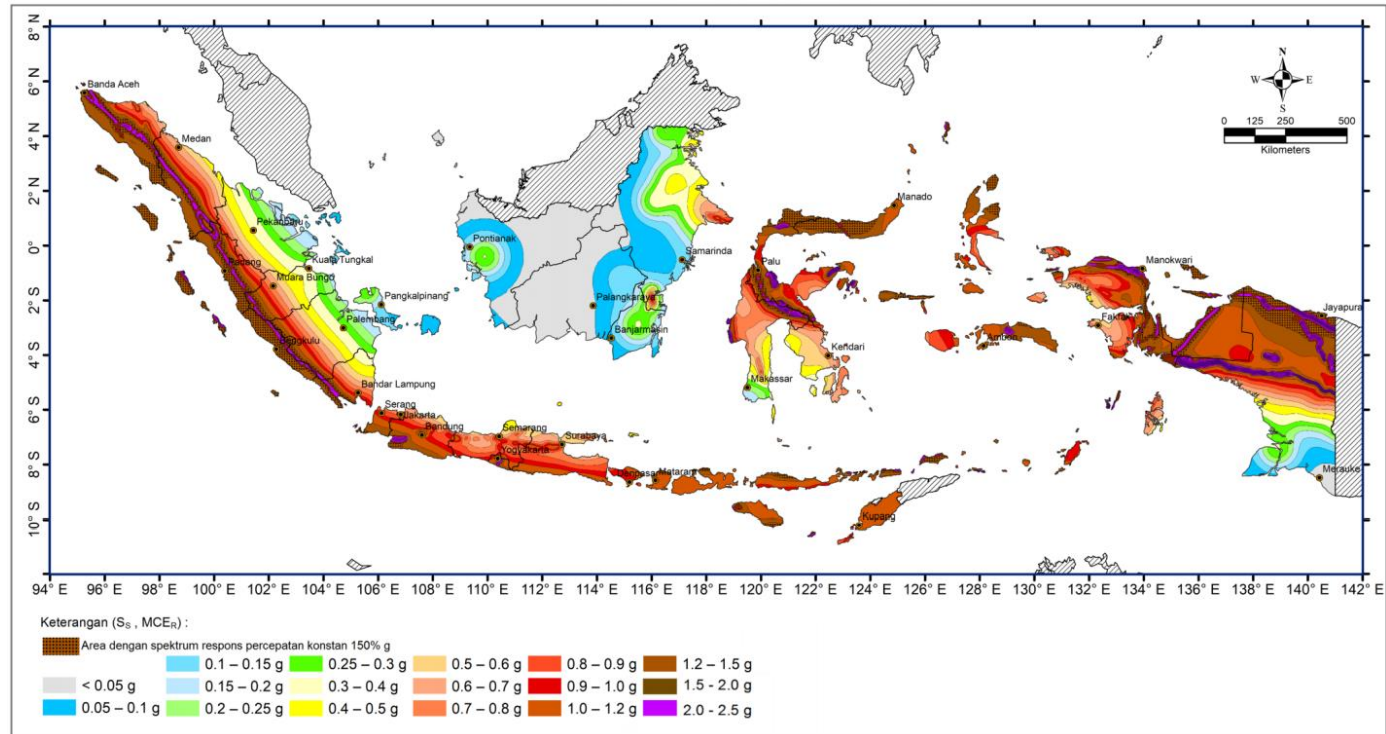
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2** yang nilainya diambil dari **Gambar 2.8**



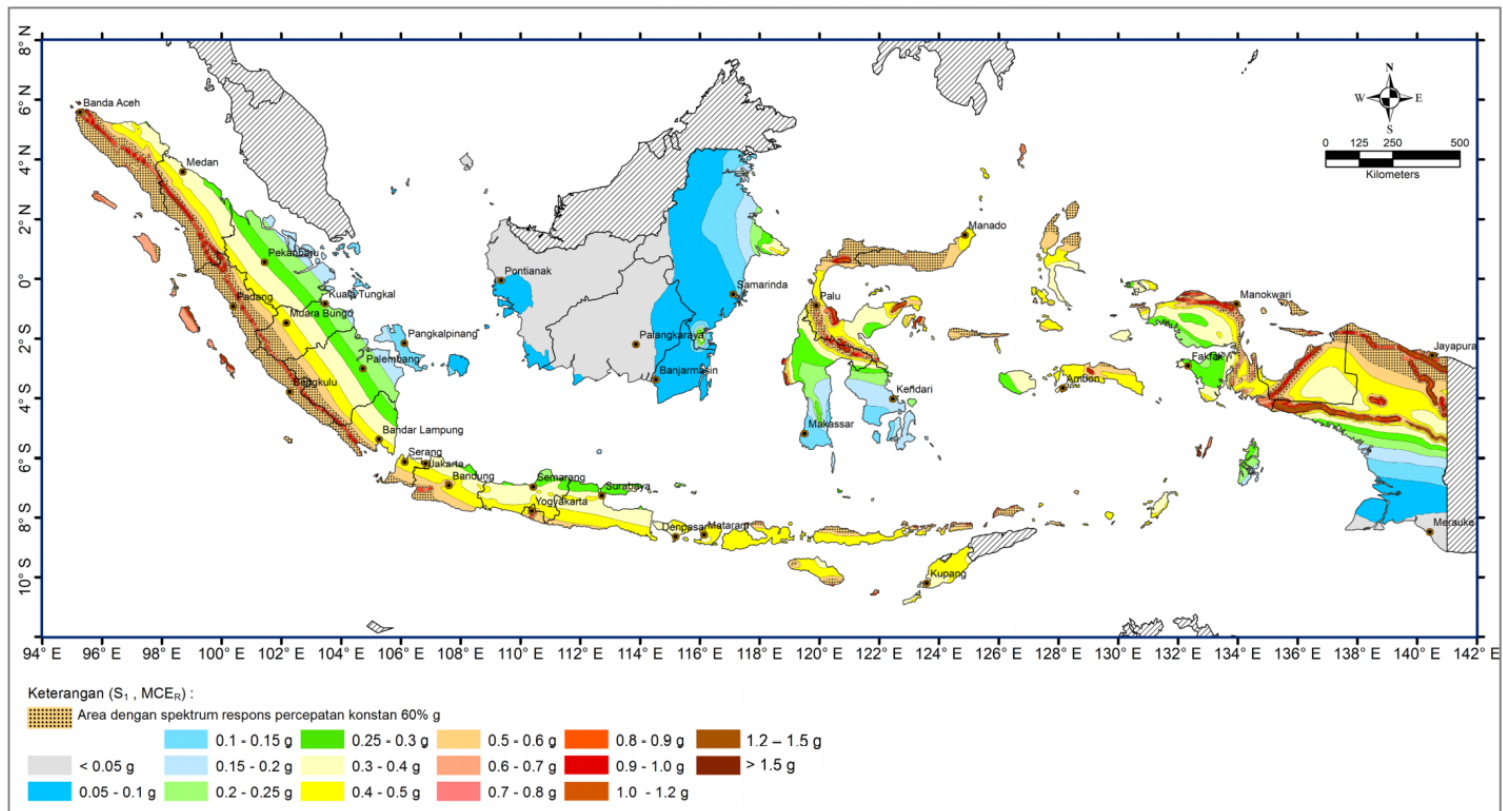
Gambar 2. 2 Spektrum Respons Desain Gambar 3

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 36



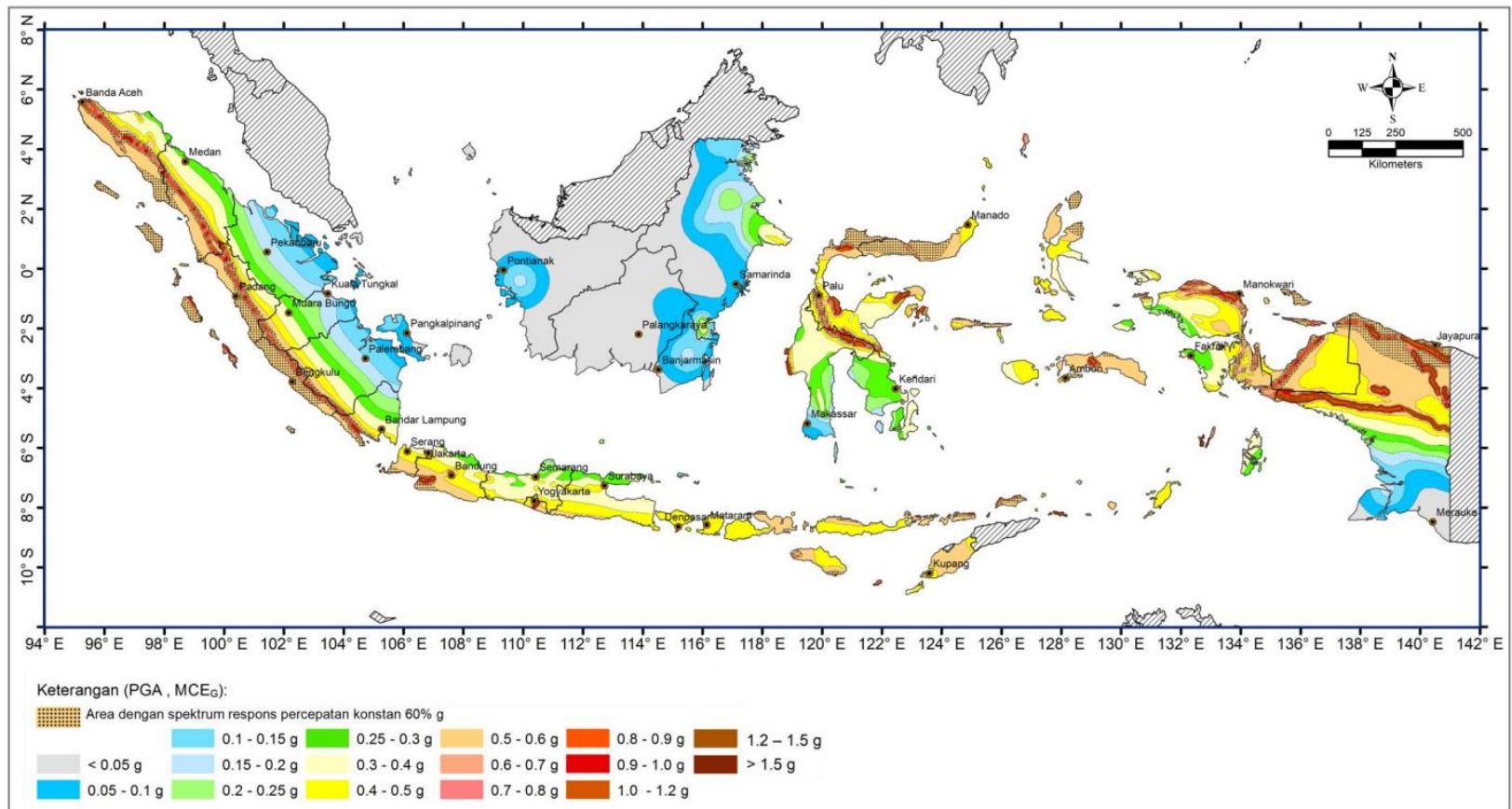
Gambar 2. 3 Parameter gerak tanah, S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 233



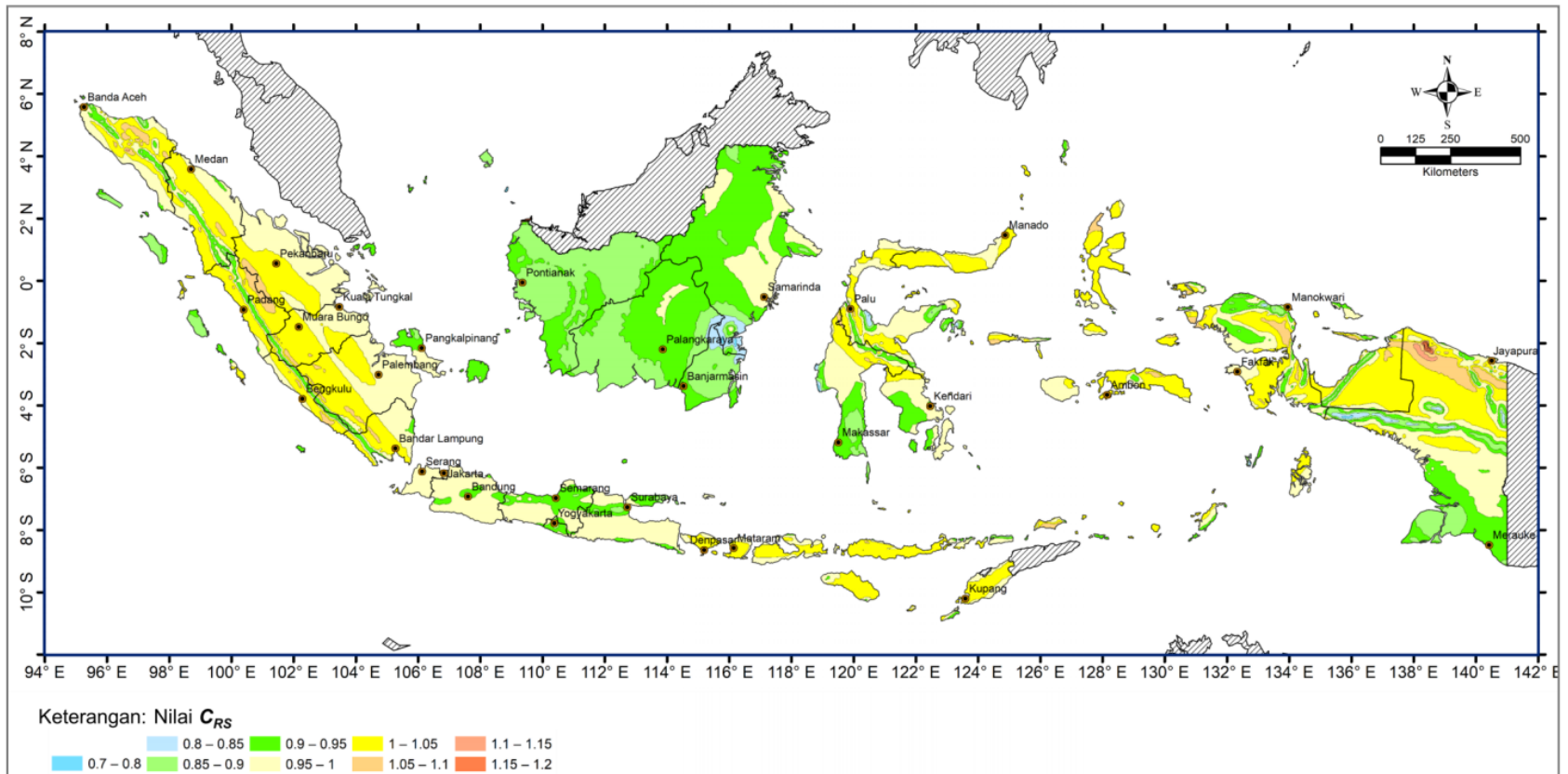
Gambar 2. 4 Parameter gerak tanah, S1, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 234



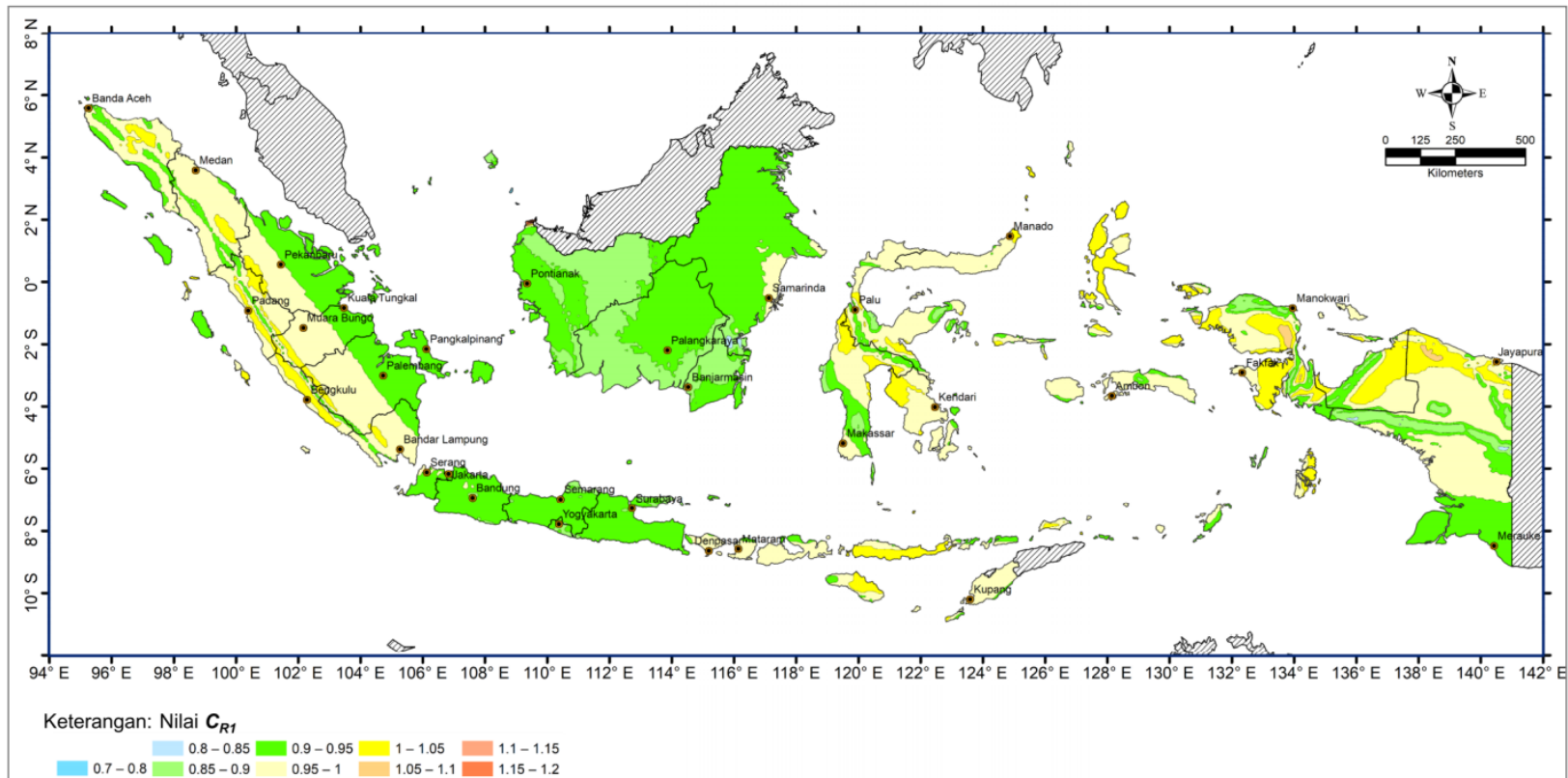
Gambar 2. 5 PGA Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCEG) Wilayah Indonesia

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 235



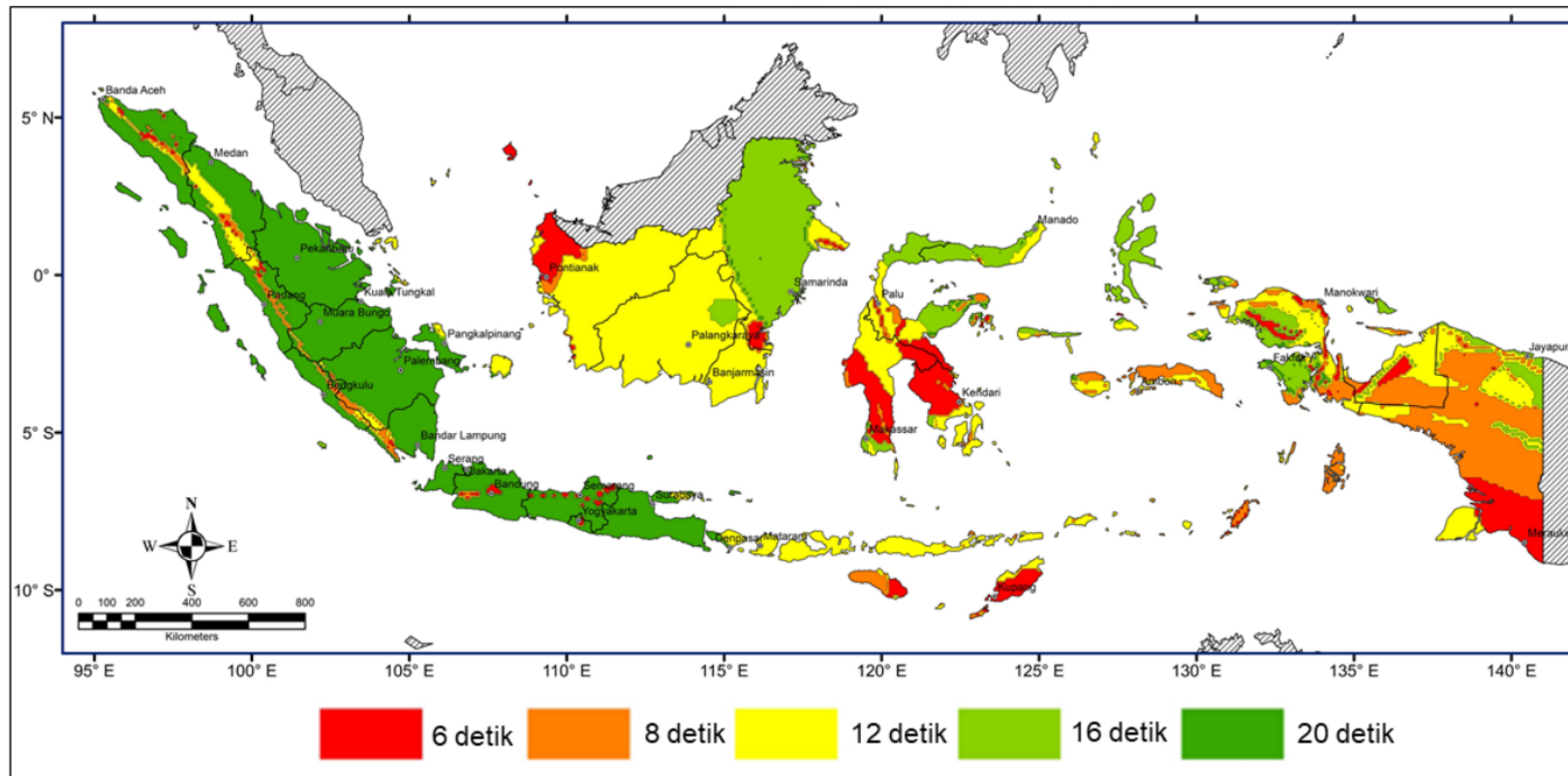
Gambar 2. 6 CRS Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2 detik

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 236



Gambar 2. 7 CR1 Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 237



Gambar 2. 8 Peta Transisi Periode Panjang TL Wilayah Indonesia

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 238

7. Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_I) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_I) lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya (S_{DS} dan S_{DI}). Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada **Tabel 2.13** dan **Tabel 2.14**, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur (T).

Tabel 2. 13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Tabel 2. 14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

8. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada **Tabel 2.15** atau kombinasi sistem seperti yang terdapat pada Pasal 7.2.2, 7.2.3, dan 7.2.4 SNI 1726-2019 kecuali apabila sistem struktur tersebut termasuk dalam Pasal 7.2.1 SNI 1726-2019. 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 (h_n) yang ditunjukkan pada **Tabel 2.15**. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.15** harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Tabel 2. 15 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik Berupa Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	h_n				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Catatan: TB adalah Tidak Dibatasi, TI adalah Tidak Diizinkan

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka dimana komponen balok, pelat, kolom, dan *joint* menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial (SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, 2019: 51). Sistem rangka pemikul momen terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Biasa (SRPMB)

Berdasarkan Pasal 18.3 SNI 2847-2019, balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki

luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik (f_y) pada muka tumpuan.

Untuk kolom yang mempunyai panjang tak tertumpu $l_u \leq 5c_l$ harus memiliki ϕV_n setidaknya nilai terendah di antara:

- a. Gaya geser yang terkait dengan terjadinya kekuatan momen nominal (M_n) pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom akibat lentur yang berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- b. Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk E , dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E .

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Penjelasan mengenai balok pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) terdapat pada Pasal 18.4.2 SNI 2847-2019. Kekuatan momen positif pada muka *joint* tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan momen negatif maupun positif pada sembarang penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu *joint* pada bentang balok yang ditinjau. Nilai ϕV_n tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara:

- a. Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya M_n pada muka *joint* di setiap ujung balok akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda) dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b. Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk E , dengan E ditetapkan sebesar dua kali nilai yang dipersyaratkan SNI 1726-2019.

Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengeang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a. $d/4$.
- b. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengegang
- d. 300 mm.

Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.

Pada balok yang memiliki gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g f_c' / 10$, tulangan sengkang perlu berdasarkan Pasal 18.4.2.5 SNI 2847-2019 harus memenuhi Pasal 25.7.2.2 SNI 2847-2019 dan salah satu di antara Pasal 25.7.2.3 atau Pasal 25.7.2.4 SNI 2847-2019.

Untuk penjelasan mengenai kolom pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) terdapat pada Pasal 18.4.3 SNI 2847-2019. Kolom bundar harus diberi tulangan spiral sesuai dengan Pasal 10 atau harus memenuhi persyaratan Pasal 18.4.3.3 hingga Pasal 18.4.3.5 SNI 2847-2019. Ketentuan Pasal 18.4.3.6 SNI 2847-2019 harus diberlakukan untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.

Pada kedua ujung kolom, sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi s_o sepanjang ℓ_o dari muka *joint*. Spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a. 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi.
- b. 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengegang.
- c. Setengah dimensi penampang terkecil kolom.
- d. 300 mm.

Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari:

- a. Seperenam tinggi bersih kolom.
- b. Dimensi maksimum penampang kolom.
- c. 450 mm.

Sengkang pengegang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari muka *joint*. Di luar panjang ℓ_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi Pasal 10.7.6.5.2 SNI 2847-2019.

Kolom-kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus dipasang tulangan sengkang tertutup dengan

spasi s_o , sesuai Pasal 18.4.3.3 SNI 2847-2019 di sepanjang tinggi penuh kolom-kolom pada tingkat yang terdapat diskontinuitas jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur kolom-kolom tersebut yang terkait dengan pengaruh gempa melebihi $A_g f_c' / 10$. Jika gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal pada sistem pemikul gaya seismik, batasan $A_g f_c' / 10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f_c' / 4$. Tulangan transversal harus diteruskan ke atas dan ke bawah dari kolom yang ditinjau sesuai Pasal 18.7.5.6b SNI 2847-2019.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Balok-balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser serta harus merangka ke kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus sesuai Pasal 18.7 SNI 2847-2019. Balok harus memenuhi hal-hal sebagai 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 sisi kolom.

Untuk penjelasan mengenai penulangan balok diatur dalam Pasal 18.6.3 dan Pasal 18.6.4 SNI 2847-2019.

Kolom-kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial. Kolom-kolom harus memenuhi hal-hal sebagai 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 lurusnya tidak kurang dari 0,4.

Untuk penjelasan mengenai penulangan kolom diatur dalam Pasal 18.7.4 dan Pasal 18.7.5 SNI 2847-2019.

Joint balok-kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) diatur dalam Pasal 18.8 SNI 2847-2019. Gaya-gaya pada tulangan

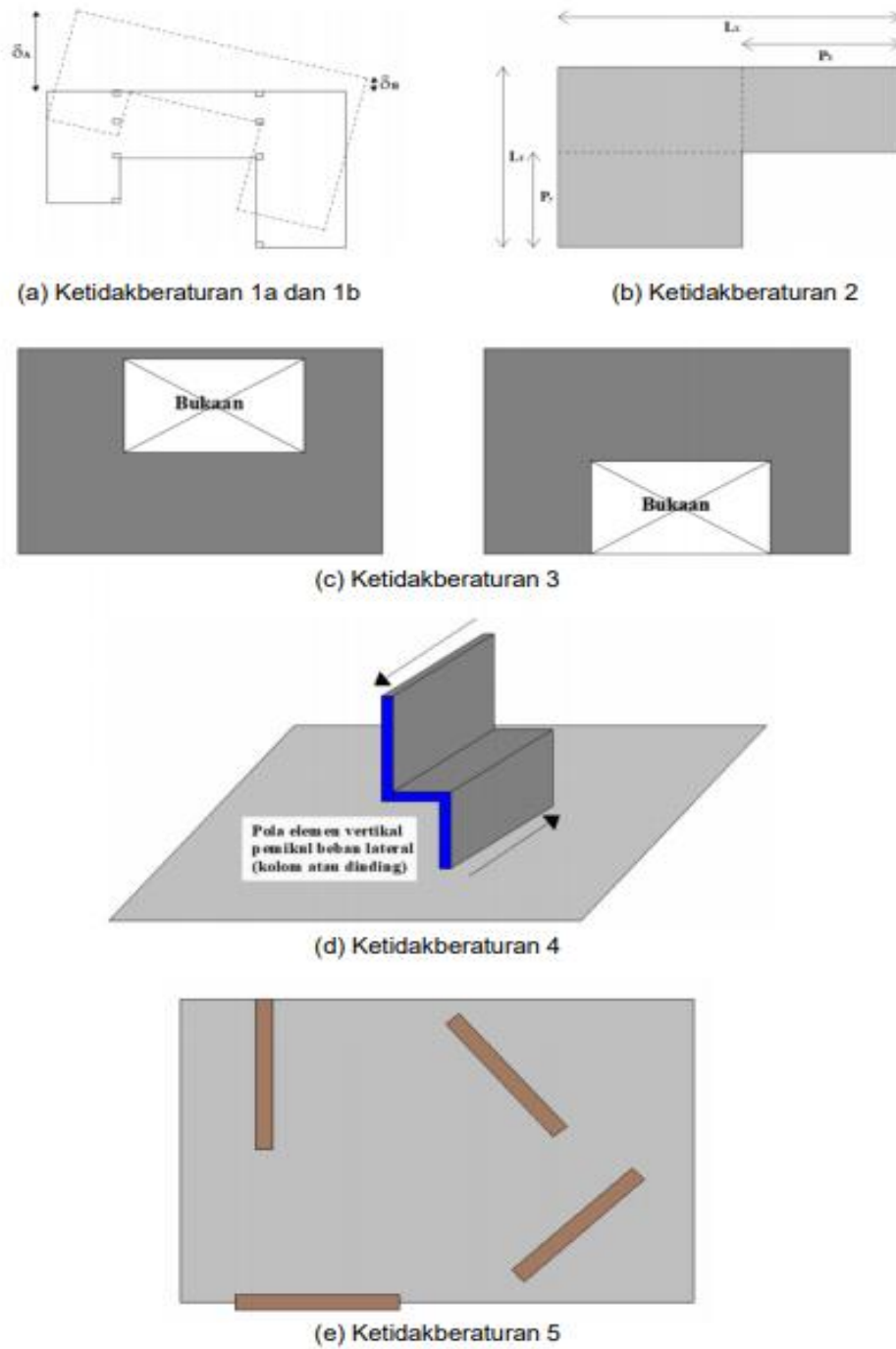
longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai Pasal 18.8.5 SNI 2847-2019 dan dalam tekan sesuai Pasal 25.4.9 SNI 2847-2019. Penjelasan lebih lanjut mengenai joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) diatur dalam Pasal 18.8.3 hingga Pasal 18.8.5 SNI 2847-2019.

9. Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam Pasal 7.3.2 SNI 1726-2019. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur. Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam **Tabel 2.16** harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal sedangkan struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam **Tabel 2.17** harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal.

Tabel 2. 16 Ketidak Beraturan 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 $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	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 $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	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 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 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

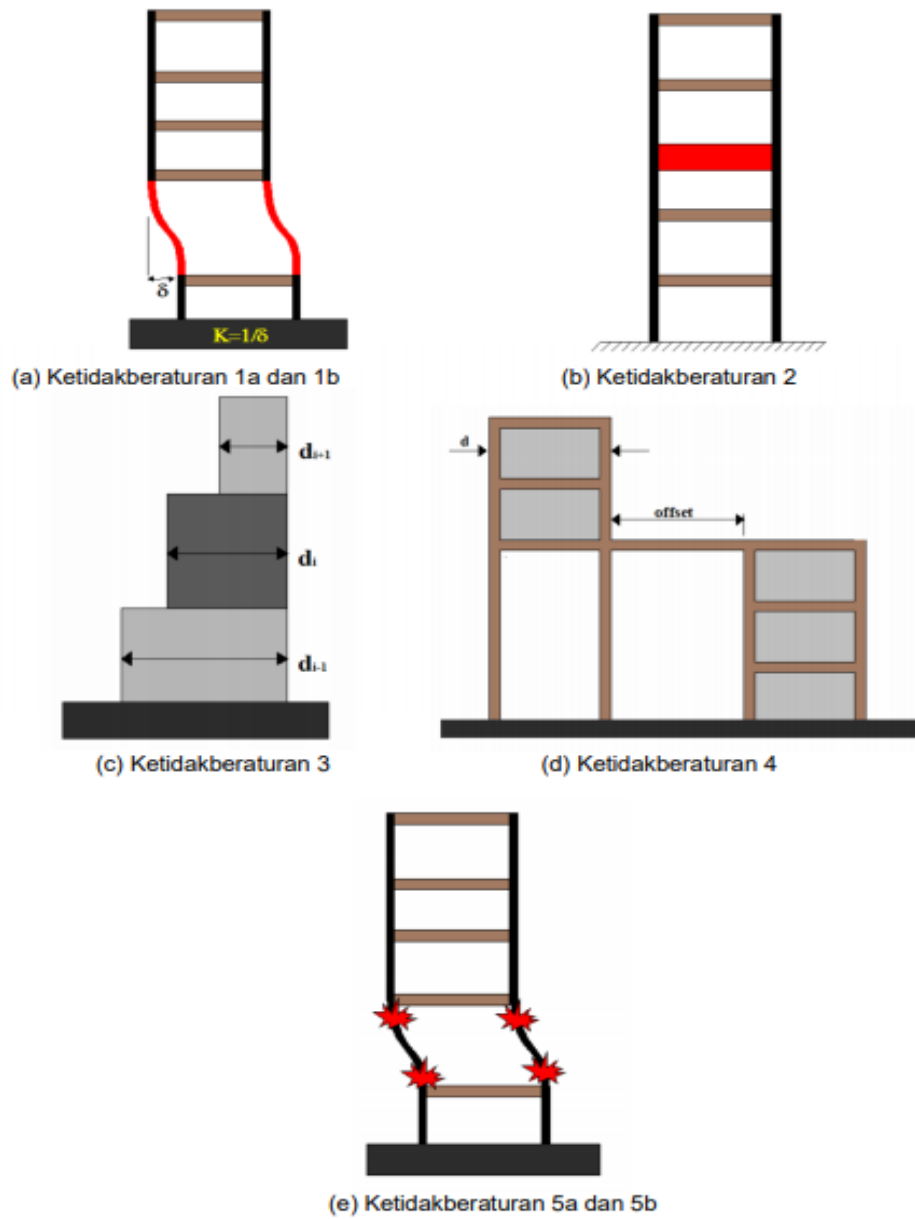


Gambar 2. 9 Ketidakberaturan horizontal

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 60

Tabel 2. 17 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	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



Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Vertical

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 62

10. Redundansi

Faktor redundansi (ρ) harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik, sesuai dalam Pasal 7.3.4 SNI 1726-2019. Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

1. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta.
3. Desain komponen nonstruktural.
4. Desain struktur nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 SNI 1726-2019.
6. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 SNI 1726-2019.
7. Beban diafragma yang ditentukan menggunakan persamaan (51), termasuk batasan yang disyaratkan oleh persamaan (52) dan persamaan (53). Persamaan tersebut terdapat pada SNI 1726-2019.
8. Desain struktur dengan sistem peredam sesuai Pasal 13 SNI 1726-2019.
9. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

11. Kriteria Pemodelan

Berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan, minimum sebesar 25% beban hidup lantai. Terdapat pengecualian:
 - a. Bila beban penyimpanan tidak lebih dari 5% terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif.
 - b. Beban hidup lantai di tempat parkir umum dan struktur parkir terbuka tidak perlu dimasukkan.

2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan pada Pasal 4.3.2 SNI 1727, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar $0,48 \text{ kN/m}^2$.
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

Tabel 2. 18 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat di atas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a, atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan:

1. I adalah Diizinkan, TI adalah Tidak Diizinkan.
2. Analisis gaya lateral ekuivalen diatur dalam Pasal 7.8 SNI 1726-2019.
3. Analisis spektrum respons ragam diatur dalam Pasal 7.9.1 SNI 1726-2019.
4. Prosedur respons riwayat waktu seismik diatur dalam Pasal 11 SNI 1726-2019.

12. Geser Dasar Seismik

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

$$V = C_s W \quad (2.10)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

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

R = Koefisien modifikasi respons (**Tabel 2.14**)

I_e = Faktor keutamaan gempa (**Tabel 2.8**)

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (2.11) tidak perlu melebihi berikut ini:

$$\text{Untuk } T \leq T_L : C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

$$\text{Untuk } T > T_L : C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Nilai C_s yang dihitung juga harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.14)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

13. Periode Fundamental Struktur

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 2.19** dan periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditentukan sesuai Pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2019. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan

periode fundamental struktur (T) diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a) yang dihitung sesuai Pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2019.

Tabel 2. 19 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.16)$$

Keterangan:

C_t, x = Ditentukan dari **Tabel 2.20**

h_n = Ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Tabel 2. 20 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi 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	0,0488	0,75

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

$$T_a = 0,1N \quad (2.17)$$

dengan N adalah jumlah tingkat.

Untuk menentukan periode fundamental struktur (T) yang digunakan, dibatasi dengan persyaratan berikut:

Jika $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

dengan T_c adalah periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

14. Distribusi Gaya Seismik

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

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.18)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.19)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

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

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

h_i, 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

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.20)$$

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

15. Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, dimana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam **Tabel 2.15** harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di

masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam **Gambar 2.11** dan ditentukan dari persamaan berikut:

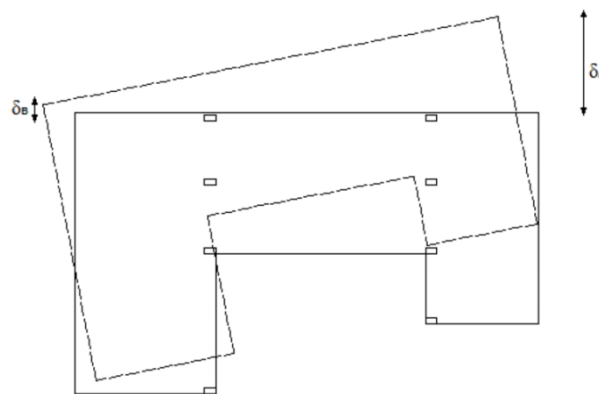
$$A_x = \left(\frac{\delta_{maks}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (2.21)$$

Keterangan:

δ_{maks} = Perpindahan maksimum di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

δ_{avg} = 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.



$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \quad A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1,2(\delta_{avg})} \right]^2$$

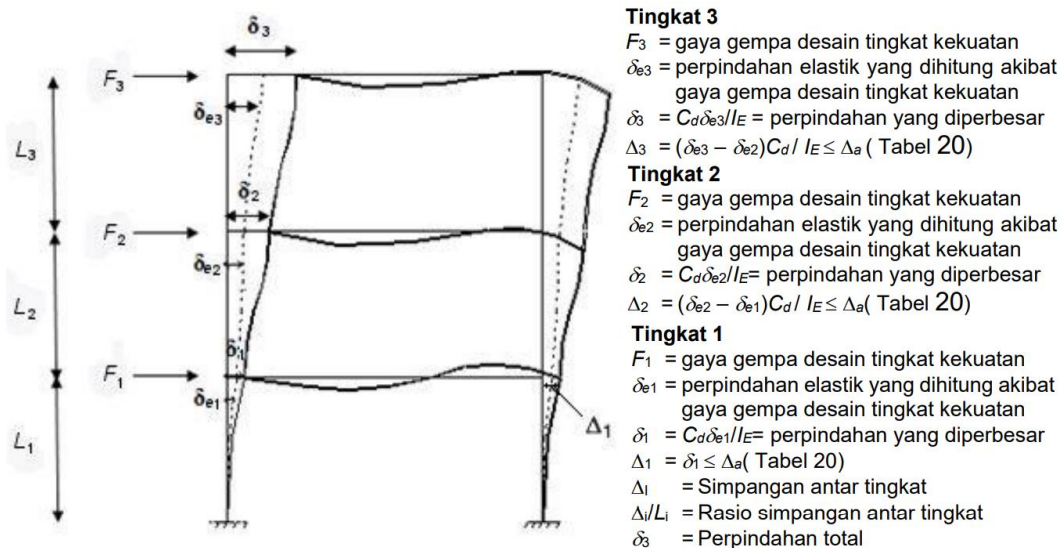
Gambar 2. 11 Faktor pembesaran torsi (A_x)

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 75

16. 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 (lihat **Gambar 2.12**). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi

vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b pada **Tabel 2.16**, 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.



Gambar 2. 12 Penentuan simpangan antar tingkat

Sumber: SNI 1726 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, 2019: 75

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.22)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam **Tabel 2.15**

δ_{xe} = Simpangan di tingkat- x yang disyaratkan pada Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan **Tabel 2.9**

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari **Tabel 2.21** untuk semua tingkat. Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat

desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_d/ρ untuk semua tingkat. ρ adalah faktor redundansi.

Tabel 2. 21 Simpangan antar Tingkat Izin (\square 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	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

17. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, serta simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.23)$$

Keterangan:

- P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- x (kN), bila menghitung P_x faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
- Δ = Simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan **Tabel 2.9**
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x - 1$ (kN)
- h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)
- C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam **Tabel 2.15**

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

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.24)$$

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 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{maks} , 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_{maks} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

18. Rasio Partisipasi Modal Massa

Berdasarkan Pasal 7.9.1.1 SNI 1726-2019, 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.

Pengecualian : Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

19. Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen dan fondasi harus didesain sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek beban-beban terfaktor dalam kombinasi berikut. Efek dari satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus dipertimbangkan. Efek beban seismik dengan beban-beban lainnya dikombinasikan sesuai dengan Pasal 2.3.6 SNI 1727-2020. Beban angin dan beban seismik tidak perlu dianggap bekerja secara simultan.

Berdasarkan Pasal 2.3.1 SNI 1727-2020, maka kombinasi dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$1. \quad U = 1,4 D \quad (2.25)$$

$$2. \quad U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.26)$$

$$3. \quad U = 1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.27)$$

$$4. \quad U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.28)$$

$$5. \quad U = 0,9 D + 1,0 W \quad (2.29)$$

dimana D adalah beban mati, L adalah beban hidup, L_r adalah beban hidup atap, S adalah beban salju, R adalah beban hujan, dan W adalah beban angin.

Bila struktur mengalami efek beban seismik, kombinasi beban berikut harus diperhitungkan sebagai tambahan pada kombinasi dasar dalam Pasal 2.3.1 SNI 1727-2020. Efek yang paling tidak menguntungkan dari beban seismik harus diselidiki jika sesuai, tetapi tidak perlu diperhitungkan bekerja secara bersamaan dengan beban angin.

Bila efek beban seismik yang ditetapkan, $E = f(E_v, E_h)$ (didefinisikan dalam Pasal 7.4.2 dan Pasal 7.4.3.1 pada SNI 1726-2019) dikombinasikan dengan efek beban lainnya, kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah sebagai berikut:

$$6. \quad U = 1,2 D + E_v + E_h + L + 0,2 S \quad (2.30)$$

$$7. \quad U = 0,9 D - E_v + E_h \quad (2.31)$$

dimana E_v adalah beban seismik vertikal dan E_h adalah beban seismik horizontal.

Bila efek beban seismik dengan kekuatan lebih, $E_m = f(E_v, E_{mh})$, yang ditetapkan dalam Pasal 7.4.3 SNI 1726-2019, dikombinasikan dengan efek beban lainnya, kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah sebagai berikut:

$$6. \quad U = 1,2 D + E_v + E_{mh} + L + 0,2 S \quad (2.32)$$

$$7. \quad U = 0,9 D - E_v + E_{mh} \quad (2.33)$$

dimana E_{mh} adalah beban seismik horizontal dengan faktor kuat lebih.

2.7 Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen struktur berupa bidang lurus, datar atau tidak melengkung yang memikul beban vertikal berupa beban hidup maupun beban mati dalam dua arah yaitu arah memanjang dan arah melintang, serta kemudian disalurkan ke struktur lainnya. Sistem perencanaan tulangan pelat berdasarkan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, pelat terbagi menjadi 2 macam, yaitu sistem perencanaan pelat satu arah dan sistem perencanaan pelat dua arah. Sistem perencanaan pelat satu arah disebut

pelat satu arah (*one way slab*) sedangkan sistem perencanaan pelat dua arah disebut pelat dua arah (*two way slab*).

2.7.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat dengan perbandingan sisi Panjang dan sisi pendeknya lebih besar dari dua, dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{L_n Y}{L_n X} > 2 \quad (2.34)$$

Keterangan:

$L_n Y$ = Panjang bentang bersih terpanjang

$L_n X$ = Panjang bentang bersih terpendek

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 2.22**, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan Pasal 7.3.2 SNI 2847-2019 terpenuhi.

Tabel 2. 22 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
kantilever	$l/10$

Tabel di atas berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada **Tabel 2.22** harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$. Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, persamaan pada **Tabel 2.22** harus dikalikan dengan nilai terbesar dari 1 dan 2:

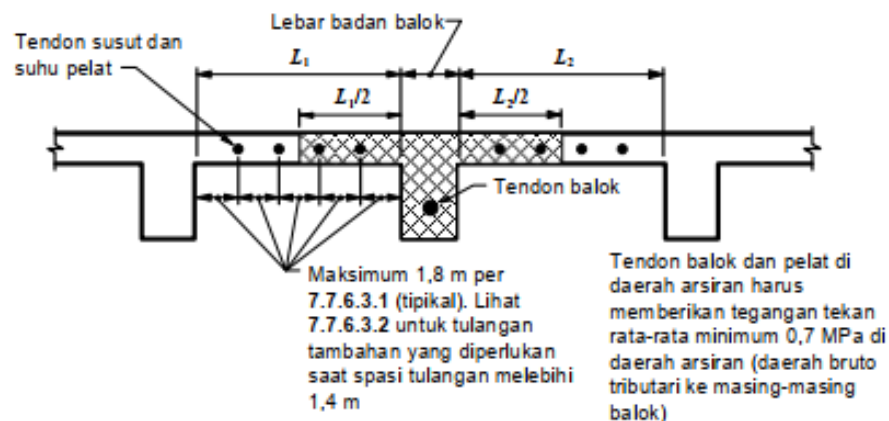
1. $1,65 - 0,0003 w_c$
2. 1,09

Persamaan di atas digunakan untuk pelat komposit nonprategang yang terbuat dari kombinasi beton ringan dan normal, ditopang saat konstruksi, dan ketika beton ringan berada dalam keadaan tertekan.

Pada kekuatan desain pelat satu arah untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk 1 dan 2. interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

1. $\phi M_n \geq M_u$
2. $\phi V_n \geq V_u$

Untuk batasan-batasan penulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum serta tulangan susut minimum diatur dalam Pasal 7.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan baik itu spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan geser, maupun tulangan susut dan suhu diatur dalam Pasal 7.7 SNI 2847-2019. Adapun gambar potongan penampang balok yang dicor monolit dengan pelat adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 13 Potongan Penampang Balok Yang Dicor Monolit Dengan Pelat

Sumber: SNI 2847 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelas, 2019: 126

2.7.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya kurang dari dua atau sama dengan dua, dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{L_n Y}{L_n X} \leq 2 \quad (2.35)$$

Keterangan:

$L_n Y$ = Panjang bentang bersih terpanjang

$L_n X$ = Panjang bentang bersih terpendek

Ketebalan minimum untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada **Tabel 2.23** dan memiliki nilai terkecil antara 1 atau 2, kecuali apabila lendutan diperhitungkan berdasarkan Pasal 8.3.2 SNI 2847-2019 dipenuhi:

1. Pelat tanpa *drop panel* sesuai Pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 125 mm
2. Pelat dengan *drop panel* sesuai Pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 100 mm

Tabel 2. 23 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)[1]

F _y , MPa [2]	Tanpa <i>drop panel</i> ^[3]			Dengan <i>drop panel</i> ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

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

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

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

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

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada **Tabel 2.24** kecuali batas lendutan diperhitungkan berdasarkan Pasal 8.3.2 SNI 2847-2019 dipenuhi.

Tabel 2. 24 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok Di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya

α_{f_m}	h minimum, mm		
$\alpha_{f_m} \leq 0,2$	Sesuai Pasal 8.3.1.1 SNI 2847-2019		(a)
$0,2 < \alpha_{f_m} \leq 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{f_m} > 2,0$	Terbesar dari	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

Keterangan:

h = Tebal pelat (mm)

ℓ_n = Panjang bersih bentang pelat (mm)

f_y = Tegangan leleh tulangan baja (MPa)

β = $\frac{\text{Bentang bersih terpanjang}}{\text{Bentang bersih terpendek}}$

α_{f_m} = Nilai rata-rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

α_f = Rasio dari kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat

α_f = $\frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$

I_b = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok (mm⁴)

I_s = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat (mm^4)

E_{cb} = Modulus elastisitas beton balok (MPa)

E_s = Modulus elastisitas beton pelat (MPa)

Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai Pasal 8.3.1.2 SNI 2847-2019, harus disediakan balok tepi dengan $a_f \geq 0,8$ atau ketebalan minimum harus memenuhi persamaan (b) atau (d) pada **Tabel 2.24** dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

Pada kekuatan desain pelat dua arah untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, dan mencakup 1 hingga 4. Hubungan antara pengaruh beban harus dipertimbangkan.

1. $\phi M_n \geq M_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah
2. $\phi M_n \geq \gamma_f M_{sc}$ dalam b_{pelat} seperti yang didefinisikan pada Pasal 8.4.2.3.3 SNI 2847-2019
3. $\phi V_n \geq V_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah
4. $\phi v_n \geq v_u$ pada penampang kritis yang didefinisikan pada Pasal 8.4.4.1 SNI 2848-2019 untuk geser dua arah

Untuk batasan tulangan seperti tulangan lentur minimum diatur dalam Pasal 8.6 SNI 2847-2019. Sementara untuk detailing penulangan baik spasi tulangan lentur, tahanan sudut pelat, tulangan lentur, maupun tulangan geser diatur dalam Pasal 8.7 SNI 2847-2019.

2.7.3 Desain Tulangan Pelat Berdasarkan Momen Hasil Analisis Elemen Hingga

m_{11} , m_{22} , m_{12} yang merupakan momen per satuan lebar yang harus diolah lagi sehingga diperoleh dimensi penulangan yang dibutuhkan.

$$m_{r1} = m_{11} + |m_{12}| \geq 0 \quad (2.36)$$

$$m_{r2} = m_{22} + |m_{12}| \geq 0 \quad (2.37)$$

Persamaan (2.24) dan (2.25) untuk menahan momen positif untuk penulangan pelat bagian bawah.

$$m_{r1} = m_{11} - |m_{12}| \leq 0 \quad (2.38)$$

$$m_{r2} = m_{22} - |m_{12}| \leq 0 \quad (2.39)$$

Persamaan (2.38) dan (2.39) digunakan untuk menahan momen negatif untuk penulangan pelat bagian atas.

Ada 4 asumsi dalam pemodelan pelat lantai yaitu :

Shell : Pelat diasumsikan menerima gaya vertical akibat beban mati dan hidup, juga menerima gaya horizontal atau lateral akibat gempa.

Membran : Pelat diasumsikan menerima gaya horizontal saja

Plate : Pelat diasumsikan hanya menerima gaya vertical saja, akibat beban mati dan beban hidup.

Thick plate : Pelat diasumsikan mempunyai ketebalan lebih, biasanya digunakan untuk jalan beton, tempat parkir dan pelat yang berfungsi.

2.8 Balok

Balok adalah komponen struktur yang utamanya menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi. Balok dalam rangka momen yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral umumnya komponen horizontal (SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, 2019: 35). Balok merupakan bagian dari struktur yang memiliki fungsi untuk menopang lantai di atasnya serta sebagai penyalur momen ke kolom-kolom yang menopang di bawahnya. Balok yang bertumpu langsung kepada kolom disebut balok induk, sedangkan balok yang bertumpu pada balok induk disebut balok anak.

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 2.25**, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan Pasal 9.3.2 SNI 2847-2019 terpenuhi.

Tabel 2. 25 Tinggi Minimum Balo 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 ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada **Tabel 2.25** harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, persamaan pada **Tabel 2.25** harus dikalikan dengan nilai terbesar dari 1 dan 2:

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

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi 1 hingga 4. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

1. $\phi M_n \geq M_u$
2. $\phi V_n \geq V_u$
3. $\phi T_n \geq T_u$
4. $\phi P_n \geq P_u$

Untuk batasan tulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum, maupun tulangan torsi minimum diatur dalam Pasal 9.6 SNI 2847-2019. Sedangkan untuk pendetailing penulangan baik spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan torsi longitudinal, tulangan transversal, maupun tulangan integritas struktur pada balok dicor di tempat diatur dalam Pasal 9.7 SNI 2847-2019.

2.8.1 Faktor Reduksi Kekuatan

Fungsi faktor reduksi kekuatan (ϕ) adalah untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (under-strength) karena

perbedaan dimensi dan kekuatan material, untuk memperkirakan ketidaktepatan pada tahap perancangan, untuk merefleksikan ketersediaan daktilitas dan tingkat keandalan yang diperlukan komponen struktur relatif terhadap beban, serta untuk menyatakan seberapa penting komponen struktur terhadap keseluruhan struktur (SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelas, 2019: 468).

Tabel 2. 26 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya atau Elemen Struktur	ϕ	Pengecualian
Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial	0,65 - 0,90 sesuai Pasal 21.2.2 SNI 2847-2019	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan Pasal 21.2.3 SNI 2847-2019
Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada Pasal 21.2.4 SNI 2847-2019
Torsi	0,75	-
Tumpu (<i>Bearing</i>)	0,65	-
Zona Angkur Pascatarik (Post-Tension)	0,85	-
<i>Bracket</i> dan Korbek	0,75	-
<i>Strut, Ties, Zona Nodal</i> , dan Daerah Tumpuan yang Dirancang dengan <i>Strutand-Tie</i> di Pasal 23 SNI 2847-2019	0,75	-
Komponen Sambungan Beton Pracetak Terkontrol Leleh oleh Elemen Baja dalam Tarik	0,90	-
Beton Polos	0,60	-
Angkur dalam Elemen Beton	0,45 - 0,75 sesuai Pasal 17 SNI 2847-2019	-

2.8.2 Penulangan Lentur

Luas minimum tulangan lentur ($A_{s\ min}$) harus disediakan pada tiap penampang dimana tulangan tarik dibutuhkan sesuai analisis. $A_{s\ min}$ harus lebih besar dari:

$$1. \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \quad (2.36)$$

$$2. \frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.37)$$

Keterangan:

$A_{s \min}$ = Luas minimum tulangan lentur (mm^2)

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

f_y = Kuat leleh tulangan (MPa)

b_w = Lebar balok (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

Distribusi tegangan persegi beton ekuivalen harus sesuai dengan Pasal 22.2.2.4 SNI 2847-2019 sebagai berikut:

1. 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:

$$a = \beta_1 c \quad (2.38)$$

2. Jarak dari serat tekan terjauh sampai ke sumbu netral c , diukur secara tegak lurus dari sumbu netral.
3. Nilai β_1 dinyatakan dalam **Tabel 2.27** sebagai berikut:

Tabel 2. 27 Nilai β_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen

f_c' (MPa)	β_1
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
$f_c' \geq 55$	0,65

2.8.3 Penulangan Geser

Kekuatan geser satu arah nominal dalam penampang (V_n) dihitung dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.39)$$

Keterangan:

- V_n = Kuat geser nominal
 V_c = Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton
 V_s = Kuat geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser

Perhitungan nilai V_c berdasarkan SNI 2847-2019 dapat ditunjukkan sebagai berikut:

1. Untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial, V_c dihitung sesuai persamaan pada Pasal 22.5.5.1 SNI 2847-2019

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2.40)$$

2. Untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tekan, V_c dihitung sesuai persamaan pada Pasal 22.5.6.1 SNI 2847-2019

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2.41)$$

dimana N_u bernilai positif untuk tekan.

3. Untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tarik signifikan, V_c dihitung sesuai persamaan pada Pasal 22.5.7.1 SNI 2847-2019

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{3,5A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2.42)$$

dimana N_u bernilai negatif untuk tarik dan V_c tidak boleh kurang dari nol.

Pada komponen prategang dan komponen nonprategang, tulangan geser harus memenuhi ketentuan sesuai Pasal 22.5.10.5.1 SNI 2847-2019 sebagai berikut:

1. Sengkang, sengkang ikat (*tie*), atau sengkang tertutup yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen.
2. Tulangan kawat las dengan kawat yang terletak tegak lurus dari sumbu longitudinal komponen.
3. Tulangan spiral.

Sengkang miring sudut 45 derajat dari sumbu longitudinal komponen dan memotong bidang retak geser potensial diperbolehkan digunakan sebagai tulangan geser pada komponen nonprategang sesuai Pasal 22.5.10.5.2 SNI 2847-2019.

V_s untuk tulangan geser dengan di ketentuan pada Pasal 22.5.10.5.1 dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (2.43)$$

Keterangan:

A_v	= Luas tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
f_{yt}	= Kuat leleh tulangan transversal (MPa)
d	= Tinggi efektif (mm)
s	= Jarak spiral (<i>pitch</i>) atau spasi longitudinal dari tulangan geser (mm)

V_s untuk tulangan geser dengan di ketentuan pada Pasal 22.5.10.5.2 dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} (\sin\alpha + \cos\alpha) d}{s} \quad (2.44)$$

Keterangan:

α = Sudut di antara sengkang miring dan sumbu longitudinal komponen

s = Diukur secara paralel sampai tulangan longitudinal.

Luas minimum tulangan geser ($A_{v \min}$) harus disediakan pada semua penampang dimana $V_u > 0,5\phi V_c$. Jika tulangan geser diperlukan dan pengaruh torsional dapat diabaikan sesuai dengan Pasal 9.5.4.1 SNI 2847-2019, nilai $A_{v \min}$ harus terbesar dari:

$$1. \quad 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.45)$$

$$2. \quad 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.46)$$

2.8.4 Penulangan Torsi

Luas minimum tulangan torsi harus disediakan di seluruh daerah dimana $T_u \geq \phi T_{th}$ susai Pasal 22.7 SNI 2847-2019. Jika $T_u < \phi T_{th}$ maka diperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh torsi. Ambang batas torsi (T_{th}) untuk penampang solid dengan komponen non prategang dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{th} = 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.47)$$

Keterangan:

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm)

Untuk komponen struktur prategang dan nonprategang, nilai T_n diambil dari nilai terkecil antara 1 dan 2:

$$1. \quad T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (2.48)$$

$$2. \quad T_n = \frac{2A_o A_\ell f_y}{P_h} \cot \theta \quad (2.49)$$

Bila A_o ditentukan dengan analisis, θ tidak boleh diambil kurang dari 30 derajat atau lebih dari 60 derajat, A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi, A_ℓ adalah luas tulangan longitudinal torsi, dan p_h adalah keliling garis tengah terluar sengkang tertutup. Berdasarkan persamaan T_n di atas, nilai A_o boleh diambil sama dengan $0,85A_{oh}$. A_{oh} adalah luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm^2). Penjelasan mengenai luasan A_{oh} terdapat pada Pasal 22.7.6.1.1 SNI 2847-2019.

Untuk penampang solid sesuai Pasal 22.7.7 SNI 2847-2019, dimensi penampang untuk menahan torsi harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f_c'}\right) \quad (2.50)$$

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

$$1. \quad 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.51)$$

$$2. \quad 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.52)$$

Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan longitudinal minimum A_t harus lebih kecil dari:

$$1. \quad 0,42 \sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) p_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.53)$$

$$2. \quad 0,42 \sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175 b_w}{f_{yt}}\right) p_h \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.54)$$

2.9 Kolom

Kolom adalah komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser (SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, 2019: 44). Kolom juga merupakan

elemen utama pada struktur bangunan gedung karena fungsinya sebagai penyalur beban dari balok dan lantai ke sistem fondasi dibawahnya.

Berdasarkan Pasal 10.3.1 SNI 2847-2019 terdapat batasan dimensi untuk kolom adalah sebagai berikut:

1. Ukuran minimum eksplisit pada kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom beton bertulang dengan penampang kecil untuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika penampang kecil dipakai, diperlukan ketelitian pekerjaan lebih baik, dan tegangan susut meningkat secara signifikan.
2. Untuk kolom dengan penampang lebih besar dari yang dibutuhkan oleh beban yang dipertimbangkan, diperbolehkan untuk mengelompokkan penampang bruto yang dipakai, kebutuhan tulangan, dan kekuatan desain, diambil dari luas efektif tereduksi, tidak kurang dari setengah total area. Ketentuan ini tidak berlaku untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus atau kolom yang tidak termasuk bagian dari sistem penahan gaya seismik harus didesain berdasarkan Pasal 18 SNI 2847-2019.
3. Untuk kolom dicor secara monolitik dengan dinding beton, batas luar penampang kolom efektif tidak boleh diambil lebih besar dari 40 mm di luar tulangan transversal.
4. Untuk kolom dengan dua atau lebih tulangan spiral saling terkait, batas luar penampang efektif harus diambil pada jarak di luar spiral sama dengan selimut beton minimum yang disyaratkan.
5. Jika area efektif tereduksi dipertimbangkan seperti disebutkan Pasal 10.3.1.1 hingga 10.3.1.4 SNI 2847-2019, analisis struktur dan desain bagian lainnya dari struktur yang berinteraksi dengan kolom harus didasarkan pada penampang aktual.
6. Untuk kolom komposit dengan inti beton dilapisi oleh baja struktural, ketebalan baja minimum harus memenuhi a) atau b):

- a. $b \sqrt{\frac{f_y}{3E_s}}$ untuk setiap lebar b (2.55)

$$b. \quad h \sqrt{\frac{f_y}{8E_s}} \text{ untuk penampang lingkaran dengan diameter } h \quad (2.56)$$

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk 1 hingga 4. Interaksi antara efek beban harus dipertimbangkan.

1. $\phi P_n \geq P_u$
2. $\phi M_n \geq M_u$
3. $\phi V_n \geq V_u$
4. $\phi T_n \geq T_u$

Kekuatan tekan aksial nominal P_n tidak boleh melebihi $P_{n \text{ maks}}$ sesuai **Tabel 2.28**, dimana nilai P_o untuk komponen nonprategang dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_o = 0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (2.57)$$

dimana A_g adalah luas penampang kolom dan A_{st} adalah luas total tulangan longitudinal non prategang.

Tabel 2. 28 Kekuatan Aksial Maksimum

Komponen	Tulangan Transversal	$P_{n \text{ maks}}$
Nonprategang	Sengkang Persegi Sesuai Pasal 22.4.2.4 SNI 2847-2019	$0,80P_o$
	Spiral Sesuai Pasal 22.4.2.5 SNI 2847-2019	$0,85P_o$
Prategang	Sengkang Persegi	$0,80P_o$
	Sengkang Spiral	$0,85P_o$
Kolom Komposit dan Kolom Beton Sesuai Pasal 10 SNI 2847-2019	Semua	$0,85P_o$

Kelangsingan suatu kolom dapat dinyatakan dalam suatu rasio yang disebut rasio kelangsingan. Berdasarkan Pasal 6.2.5 SNI 2847-2019 Pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika 1 atau 2 terpenuhi:

1. untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2.58)$$

2. untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping:

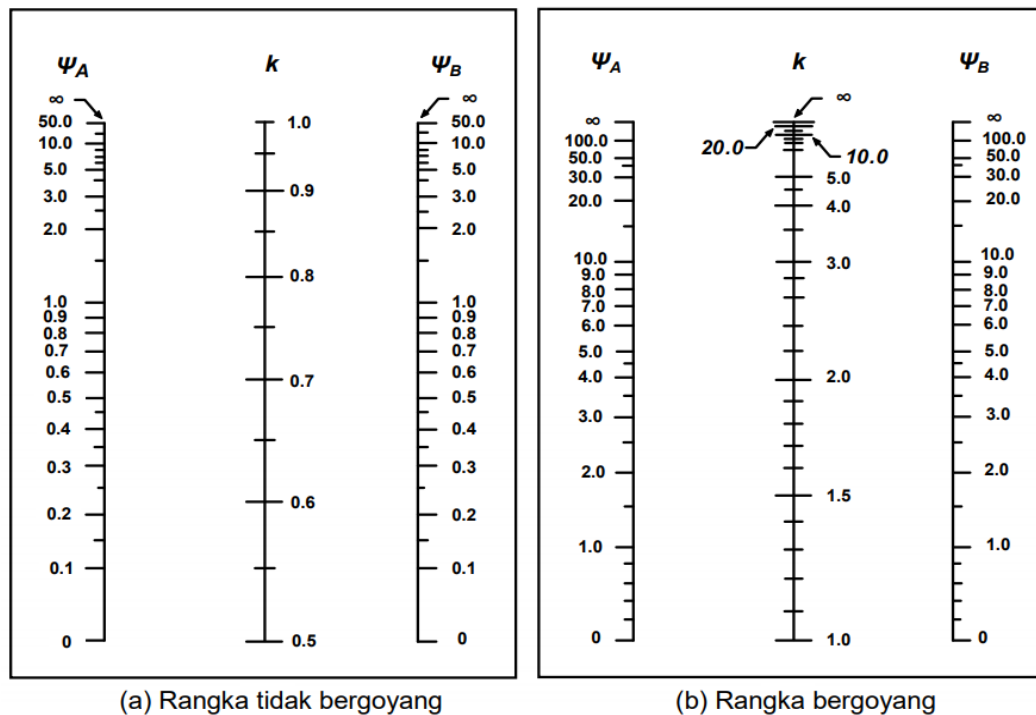
$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12(M_1/M_2) \quad (2.59)$$

$$\frac{kl_u}{r} \leq 40 \quad (2.60)$$

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

Radius girasi (r) diizinkan untuk dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

1. $r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$ (2.61)
2. 0,3 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk kolom persegi.
3. 0,25 kali diameter untuk kolom bundar.



Ψ = rasio $\sum(EI/\ell_c)$ untuk kolom terhadap $\sum(EI/\ell)$ untuk balok pada satu ujung kolom dalam bidang yang ditinjau
 ℓ = panjang bentang balok diukur dari pusat ke pusat *joint*

Gambar 2.14 Faktor Panjang Efektif (k)

Sumber: SNI 2847 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, 2019: 93

2.10 Fondasi

Fondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan dengan tanah secara langsung dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan gaya beban yang ada di atasnya. Selain itu, fondasi berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas menuju lapisan tanah pendukung di bawahnya. Fondasi biasanya dibedakan menjadi dua bagian yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam.

Bowles (1997: 174) menyatakan ada dua persyaratan umum yang harus dipenuhi dalam merencanakan fondasi, yaitu tanah dasar harus mampu mendukung

beban konstruksi tanpa mengalami keruntuhan geser (*shear failure*) dan penurunan fondasi yang akan terjadi harus dalam batas yang diizinkan.

Perhitungan daya dukung fondasi dalam atau fondasi tiang pancang dapat menggunakan metode statis empiris. Pada metode statis empiris, korelasi yang digunakan adalah hasil pembacaan dari penetrasi suatu alat penetrometer. Alat penetrometer yang biasanya digunakan pada metode statis empiris adalah *Cone Penetration Test (CPT)* dan *Standard Penetration Test (SPT)*.

Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam perencanaan fondasi adalah sebagai berikut:

1. *Cone Penetration Test (CPT)*

a. Daya Dukung Satu Tiang

$$Q_a = \frac{Q_p}{3} + \frac{Q_s}{5} = \frac{Q_c \times A_p}{3} + \frac{TF \times O}{5} \quad (2.62)$$

Keterangan:

Q_a = Daya dukung satu tiang (ton)

Q_p = Tahanan ujung ultimit (ton)

Q_s = Tahanan ujung selimut ultimit (ton)

A_p = Luas penampang ujung tiang pancang (mm²)

TF = Total friksi (kg/cm)

O = Keliling tiang pancang (cm)

b. Jumlah Tiang Pancang

$$n = \frac{V}{Q_a} \quad (2.63)$$

keterangan:

n = Jumlah tiang pancang

V = Beban vertikal (ton)

Q_a = Daya dukung satu tiang (ton)

c. Efisiensi Grup

$$E_g = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \times \frac{(m-1)n + (n-1)m}{m \times n} \right) \quad (2.64)$$

Keterangan:

E_g = Efisiensi grup

θ	= arc tan $\left(\frac{D}{S}\right)$
m	= Jumlah baris tiang
n	= Jumlah kolom
D	= Diameter tiang (cm)
S	= Jarak antar tiang (cm)

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan ketentuan $2,5D \leq S \leq 3,5D$. Sedangkan jarak tiang ke tepi fondasi dibatasi dengan $1,25D \leq S \leq 1,5D$.

d. Daya Dukung Kelompok Tiang

$$DD_{KT} = E_g \times Q_a \quad (2.65)$$

Keterangan:

DD_{KT} = Daya dukung kelompok tiang (ton)

e. Penentuan Nilai Beban yang Dipikul oleh Masing-Masing Tiang

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2} \quad (2.66)$$

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \quad (2.67)$$

Keterangan:

P = Beban yang dipikul oleh masing-masing tiang (ton)

V = Beban vertikal (ton)

n = Jumlah tiang pancang

M_x, M_y = Beban momen (ton m)

x = Jarak x tiang pancang dari pusat titik berat (m)

y = Jarak y tiang pancang dari pusat titik berat (m)

f. Kontrol

$$DD_{KT} \geq P_{maks} \quad (\text{OK}) \quad (2.68)$$

Keterangan:

DD_{KT} = Daya dukung kelompok tiang (ton)

P_{maks} = Beban yang dipikul oleh masing-masing tiang (ton)

2. *Standard Penetration Test (SPT)*

a. Daya Dukung Satu tiang

$$Q_a = \frac{Q_p + Q_s}{FK} \quad (2.69)$$

Keterangan:

- Q_a = Daya dukung satu tiang (ton)
 Q_p = Tahanan ujung ultimit (ton)
 Q_s = Tahanan ujung selimut ultimit (ton)
 FK = Faktor keamanan (diambil 3)

b. Tahanan Ujung Ultimit

$$Q_p = 40 \times N\text{-SPT} \times A_p \quad (2.70)$$

Keterangan:

- Q_p = Tahanan ujung ultimit (ton)
 $N\text{-SPT}$ = Jumlah ketukan pada kedalaman rencana tiang pancang
 A_p = Luas penampang ujung tiang pancang (mm^2)

c. Tahanan Ujung Selimut Ultimit

$$Q_s = 0,2 \times N_2 \times (A_{s\ n+1} - A_{s\ n}) \quad (2.71)$$

Keterangan:

- Q_s = Tahanan ujung selimut ultimit (ton)
 N_2 = Nilai rata-rata dari N-SPT (sesuai kedalaman rencana)
 A_s = Luas selimut tiang pancang (m^2)

d. Jumlah Tiang Pancang

$$n = \frac{V}{Q_a} \quad (2.72)$$

keterangan:

- n = Jumlah tiang pancang
 V = Beban vertikal (ton)
 Q_a = Daya dukung satu tiang (ton)

e. Efisiensi Grup

$$E_g = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \times \frac{(m-1)n + (n-1)m}{m \times n} \right) \quad (2.73)$$

Keterangan:

E_g	= Efisiensi grup
θ	= $\text{arc tan} \left(\frac{D}{S} \right)$
m	= Jumlah baris tiang
n	= Jumlah kolom
D	= Diameter tiang (cm)
S	= Jarak antar tiang (cm)

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan ketentuan $2,5D \leq S \leq 3,5D$. Sedangkan jarak tiang ke tepi fondasi dibatasi dengan $1,25D \leq S \leq 1,5D$.

f. Daya Dukung Kelompok Tiang

$$DD_{KT} = E_g \times Q_a \quad (2.74)$$

Keterangan:

DD_{KT} = Daya dukung kelompok tiang (ton)

g. Penentuan Nilai Beban yang Dipikul oleh Masing-Masing Tiang

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2} \quad (2.75)$$

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \quad (2.76)$$

Keterangan:

P = Beban yang dipikul oleh masing-masing tiang (ton)

V = Beban vertikal (ton)

n = Jumlah tiang pancang

M_x, M_y = Beban momen (ton m)

x = Jarak x tiang pancang dari pusat titik berat (m)

y = Jarak y tiang pancang dari pusat titik berat (m)

h. Kontrol

$$DD_{KT} \geq P_{maks} \quad (\text{OK}) \quad (2.77)$$

Keterangan:

DD_{KT} = Daya dukung kelompok tiang (ton)

P_{maks} = Beban yang dipikul oleh masing-masing tiang (ton)