

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Struktur Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan beton struktural yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari tulangan prategang atau non-prategang minimum yang ditetapkan. Beton bertulang merupakan material komposit dari beton dengan tulangan baja sehingga memiliki karakter yang sama seperti bahan penyusunnya. Beton merupakan material yang mampu menahan gaya tekan, tetapi cenderung lemah menahan gaya tarik, sehingga beton akan mengalami getas jika diberi gaya tarik. Sedangkan baja merupakan material yang mampu menahan gaya tarik. Perpaduan antara kedua material ini dimaksud untuk menahan gaya tarik serta gaya tekan yang cukup besar pada sebuah struktur.

Konsep perencanaan desain struktur yang digunakan merupakan konsep perencanaan berbasis kekuatan, dimana kekuatan rencana harus lebih besar dari kekuatan perlu (Badan Standarisasi Nasional, 2019a). Tahapan mendesain sebuah struktur dilakukan dengan menentukan gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut menggunakan metode analisis struktur dan menentukan dimensi dari setiap elemen struktur dengan mempertimbangkan faktor keamanan, stabilitas, kemampuan layan serta fungsi dari struktur tersebut. Keunggulan dan kekurangan dari material beton bertulang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam memilih material konstruksi.

2.1.1 Material Beton

Beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (Badan Standarisasi Nasional, 2019a). Beton memiliki kekuatan yang terdiri dari kuat tekan beton, kuat tarik, dan modulus elastis beton (Asroni, 2017).

Kuat tekan beton dengan notasi f'_c merupakan kekuatan beton yang sudah berumur 28 hari sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam SNI. Kuat tarik beton memiliki nilai yang lebih kecil dari kuat tekan beton karena beton lebih dominan dengan kuat tekannya.

2.1.2 Material Tulangan Baja

Pada umumnya terdapat dua jenis tulangan yang sering digunakan yaitu tulangan polos dan tulangan ulir. Jenis tulangan yang digunakan sebagai tulangan struktur beton pada gedung yaitu tulangan ulir. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kuat lekat antar bahan beton bertulang, sehingga dapat mencegah terjadinya slip antar tulangan baja dengan beton.

2.2 Sistem Struktur

Sistem struktur terbagi menjadi dua bagian, yaitu vertikal dan horizontal. Sistem struktur vertikal termasuk sistem struktur lateral bertujuan untuk meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan pada komponen vertikal. Sedangkan sistem horizontal mencakup horizontal *bracing* berupa lantai dan *deck farming* yang dapat disebut sebagai diafragma horizontal. Struktur gedung diharuskan memiliki elemen-elemen yang mampu menahan beban yang diberikan. Untuk memikul beban gravitasi, beban dinamik, serta kombinasi keduanya maka digunakan beberapa sistem struktur tahan gempa, seperti *frame system*, *wall system*, dan *dual system* (Amrullah dkk., 2019).

2.2.1 Sistem Struktur Rangka (*Frame System*)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan rangka yang elemen-elemen strukturnya (kolom, balok, plat, dan joint) mampu menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan gaya aksial (Badan Standarisasi Nasional, 2019a). Sistem ini biasanya digunakan pada struktur gedung yang memiliki jumlah lantai/tingkat yang rendah sampai menengah (Amrullah dkk., 2019). Terdapat tiga jenis sistem struktur rangka, yaitu sebagai berikut:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SPRMB)

Sistem rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak. Sistem ini harus memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 2847:2019, Pasal 18.3. Namun Pasal ini berlaku untuk SPRMB dengan KDS B.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak. Sistem ini harus memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 2847:2019,

Pasal 18.4. Namun hanya berlaku untuk Sistem Rangka yang dikenakan KDS C.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka balok kolom yang dicor di tempat dan harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2019, Pasal 18.2.3 – 18.2.8, dan Pasal 18.6 – 18.8. Rangka balok kolom pracetak harus memenuhi Pasal 18.2.3 – 18.9. Pasal ini hanya berlaku untuk SRPMK dengan KDS D sampai F.

2.2.2 Sistem Struktur Dinding (*Wall System*)

Pada sistem ini elemen dinding digunakan sebagai struktur utama untuk menahan beban yang bekerja (gravitasi dan dinamik). Dinding yang digunakan pada struktur ini merupakan dinding beton bertulang maupun pasangan batu yang terhubung langsung dengan elemen balok dan kolom pada struktur bangunan. Desain yang dilakukan hanya berfokus pada beban gravitasi, sementara untuk pengaruh gempa diabaikan. Penggunaan sistem ini efektif pada struktur gedung dengan tingkat rendah dan menengah.

Sistem dinding terbagi 2 jenis, yaitu Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dan Sistem Dinding Struktural Umum (SDSU). Berdasarkan SNI 2847:2019, SDSK harus memenuhi Pasal 18.10 yang digunakan pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F. Sedangkan SDSU berlaku hal yang sama untuk struktur dengan KDS A, B atau C.

2.2.3 Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

Sistem struktur ganda merupakan gabungan dari sistem rangka (*frame system*) dengan sistem dinding (*wall system*). Struktur ini merupakan jenis struktur yang umum digunakan pada gedung tingkat menengah dan tingkat tinggi. Terdapat persyaratan pembagian peran antara *frame* dan *wall* pada struktur ganda ini. Struktur rangka harus mampu sedikitnya 25% sedangkan struktur dinding sedikitnya 75% dalam menahan beban gempa (Manalip dkk., 2015).

2.3 Pembebanan

Beban merupakan sebuah gaya yang bekerja pada sebuah struktur. Gaya – gaya tersebut timbul akibat dari kegiatan manusia ataupun alam itu sendiri. Dalam merencanakan sebuah bangunan, diperlukan adanya identifikasi pembebanan yang

akan bekerja pada struktur tersebut. Hal ini dilakukan untuk memastikan agar bangunan yang direncanakan sesuai dari segi keamanan dan kekuatannya. Distribusi beban yang bekerja pada elemen-elemen memerlukan asumsi dan pendekatan, dimana beban dari pelat lantai didistribusikan ke balok kemudian ke kolom dan diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Bangunan dapat dikatakan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

2.3.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (Badan Standarisasi Nasional, 2020).

Penentuan besaran beban mati untuk perancangan harus menggunakan berat bahan dan besar beban konstruksi yang sebenarnya. Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, berat bahan bangunan dan beberapa komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Departemen Pekerjaan Umum, 1987).

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Bahan Bangunan	Berat (kg/m ³)
Baja.	7850 kg/m ³
Batu alam.	2600 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk).	700 kg/m ³
Batu pecah.	1450 kg/m ³
Besi tulang.	7250 kg/m ³
Beton.	2200 kg/m ³
Beton bertulang.	2400 kg/m ³
Kayu (Kelas I).	1000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak).	1650 kg/m ³
Pasangan batu merah.	1700 kg/m ³

Bahan Bangunan	Berat (kg/m³)
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung.	2200 kg/m ³
Pasangan batu cetak.	2200 kg/m ³
Pasangan batu karang.	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab).	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air).	1800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab).	1850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab).	1700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah).	2000 kg/m ³
Timah hitam (timbel).	11400 kg/m ³
Adukan, per cm tebal :	
- Dari semen.	21 kg/m ²
- Dari kapur, semen merah atau tras.	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal.	14 kg/m ²
- Satu batu.	450 kg/m ²
- Setengah batu.	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20).	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10).	120 kg/m ²
Tanpa lubang :	
- Tebal dinding 15 cm (HB 15).	300 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10).	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenisnya), dengan tebal maksimum 4 mm.	11 kg/m ²
- Kaca, dengan tebal 3-5 mm.	10 kg/m ²

Bahan Bangunan	Berat (kg/m ³)
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ² .	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak minimum 0,80 m.	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan kaso, per m ² bidang atap.	50 kg/m ²
Penutup atas sirap dengan reng dan kaso, per m ² bidang atap.	40 kg/m ²
Penutup seng gelombang (BJLS-25).	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen <i>portland</i> , teras dan beton, tanpa adukan per cm tebal.	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm).	11 kg/m ²

Sumber: (Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

2.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban hidup merupakan beban yang disebabkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk ke dalam beban konstruksi dan beban lingkungan. Khusus pada atap terdapat beban hidup atap selama pelaksanaan pemeliharaan yang diakibatkan oleh pekerja, peralatan dan material, serta masa layan struktur akibat benda bergerak yang tidak berhubungan dengan penghuni.

2.3.2.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata

Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus menggunakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum. Berikut ini merupakan beban hidup pada lantai gedung sesuai dengan SNI 1727:2020 yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,40)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai Pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Dudukan mesin elevator (pada area 50 mm x 50 mm)		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 25 mm x 25 mm)		200 (0,89)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Pasal 4.5 SNI 1727:2020	
Garasi/Parkir		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	
Truk dan bus		
Susunan tangga, rel pengamanan batang pegangan	Pasal 4.5 SNI 1727-2020	
Helipad	60 (2,87) tidak boleh direduksi	
Rumah sakit		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3000 (13,40)
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)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4,79)	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79)	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecil tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berhubungan dan lengkung	20 (0,96)	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani	
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan	200 (0,89)
Rangka tumpu layar penutup		

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
	berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang berhubungan langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Koridor dilantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Bak-bak/scuttles, rusuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 (1,33)
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1000 (4,45)

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Penghalang Kendaraan	Pasal 4.5 (SNI 1727:2020)	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.3.2.2 Beban Hidup Terpusat

Lantai, atap, dan permukaan sejenisnya harus dirancang untuk mendukung beban hidup terdistribusi merata dengan aman atau beban terpusat. Oleh karena itu, dipilih yang menghasilkan efek beban terbesar kecuali disyaratkan lain, beban terpusat yang ditunjukkan harus diasumsikan bekerja merata pada daerah seluas 2,5 ft x 2,5 ft dan harus ditempatkan agar mendapatkan efek beban maksimum dalam komponen struktur.

2.3.3 Beban Angin

Beban angin merupakan semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif serta negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau.

Beban angin desain minimum untuk bangunan gedung tertutup tidak boleh lebih kecil dari 0,77 kN/m² dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 0,38 kN/m² dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksikan pada bidang vertikal tegak lurus terhadap asumsi arah angin. Berdasarkan SNI 1727:2020 terdapat beberapa parameter dalam menghitung pengaruh angin pada struktur.

2.3.3.1 Kecepatan Angin Dasar (V)

Kecepatan angin dasar (V) yang digunakan untuk menghitung beban angin pada bangunan gedung dan struktur lain ditentukan berdasarkan kondisi batas sesuai dengan pendekatan desain LRFD.

2.3.3.2 Faktor Arah Angin (K_d)

Faktor arah angin (K_d), merupakan koefisien yang digunakan untuk memperhitungkan pengaruh arah datangnya angin terhadap struktur bangunan. Dalam menentukan beban angin, faktor arah angin didasarkan pada analisis rasional dan kecepatan angin. Faktor arah angin berfungsi sebagai faktor reduksi untuk mengakomodasi kemungkinan variasi arah angin yang dapat dilihat seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (K_d)
Bangunan Gedung	
- Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
- Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap Lengkung	0,85
Kubah Berbentuk Bundar	1,0 ^a
Cerobong, Tangki, dan Struktur Serupa	
- Persegi	0,90
- Segi Enam	0,95
- Segi Delapan	1,0 ^a
- Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka Batang Menara	
- Segitiga, persegi atau persegi panjang	0,95
- Semua penampang lainnya	0,95

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

2.3.3.3 Kategori Eksposur

Eksposur arah melawan angin pada setiap arah angin yang diperhitungkan, berdasarkan kepada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas yang telah dibangun.

Kekasaran permukaan tanah digolongkan menjadi beberapa kategori sebagai berikut :

1. Kekasaran Permukaan B : Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.
2. Kekasaran Permukaan C : Dataran terbuka dengan penghalang tersebut yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1 m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
3. Kekasaran Permukaan D : Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Berikut ini merupakan kategori eksposur digolongkan menjadi beberapa kategori yaitu:

1. Eksposur B

Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku apabila kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku apabila kekasaran permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur.

2. Eksposur C

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

3. Eksposur D

Berlaku apabila kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan kekasaran D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524 m) atau 20 kali lebih tinggi bangunan gedung atau struktur lain.

Eksposur D juga berlaku apabila kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m)) atau 20 kali lebih tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur lain.

2.3.3.4 Faktor Topografi (K_{zt})

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Nilai K_1 , K_2 , dan K_3 disesuaikan berdasarkan kondisi topografi daerah sekitar bangunan. Apabila efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, maka nilai $K_{zt} = 1,0$.

2.3.3.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara (K_e) harus ditentukan berdasarkan pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Elevasi Tanah di Atas Permukaan Laut		Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)
ft	m	
≤ 0	≤ 0	Lihat Catatan b
0	0	1,00
1,000	305	0,96
2,000	610	0,93
3,000	914	0,90
4,000	1,219	0,86
5,000	1,524	0,83
6,000	1,829	0,80
$\geq 6,000$	$\geq 1,829$	Lihat Catatan b

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

Catatan :

Perkiraan konservatif, boleh diambil $K_e = 1,00$ dalam semua kasus

Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi :

$$K_e = e^{0,0000362z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft})$$

$$K_e = e^{0,000119z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m})$$

2.3.3.6 Efek Hembusan Angin (G)

Faktor hembusan angin untuk suatu bangunan dan gedung struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85 atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G = 0,925 \left(\frac{1 + 0,7g_q I_z Q}{1 + 0,7g_v I_z} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan :

G = faktor hembusan angin

Q = respon latar belakang

$G_q = 3,4$ (SNI 1727:2020 Pasal 26.11.4)

$G_v = 3,4$ (SNI 1727:2020 Pasal 26.11.4)

I_z = intensitas turbulensi pada ketinggian z

2.3.3.7 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Koefisien eksposur tekanan kecepatan (K_z atau K_h) dipengaruhi oleh ketinggian diatas permukaan tanah, ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Untuk $4,6 \text{ m} \leq z \leq Z_g$ dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk $z \leq Z_g$ dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$K_z = 2,01 \left(\frac{15}{Z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (2.4)$$

Nilai dari konstanta exposure daratan berdasarkan Pasal 26.11.4 SNI 1727:2020 ditentukan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Konstanta Eksposure Daratan

Eksposur	α	z_g (m)
B	7,0	365,76
C	9,5	274,32
D	11,5	213,36

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.3.3.8 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal ditentukan berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung sesuai dengan SNI 1227:2020 pada Pasal 26.12 seperti yang terlampir pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria untuk Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})
Bangunan Tertutup	A_o kurang dari terkecil 0,01 A_g atau 0,37 m ² dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan Tertutup Sebagian	$A_o \geq 1,1 A_{oi}$ dan $A_o \geq$ terkecil dari 0,01 A_g atau 0,37 m ² dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55
Bangunan Terbuka Sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup sebagian atau klasifikasi terbuka	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan Terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

Untuk bangunan tertutup sebagian yang mempunyai sebuah ruangan besar tanpa sekat, koefisien tekanan internal harus dikalikan dengan faktor reduksi, yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R_i = 0,5 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{22,800A_{og}}}} \right) \leq 1,0 \quad (2.5)$$

Keterangan :

A_{og} = luas total bukaan pada amplop bangunan gedung (dinding-dinding dan atap, dalam ft²)

V_i = Volume internal ruang tanpa partisi, dalam ft³

2.3.3.9 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Koefisien tekanan eksternal terbagi menjadi dua, yaitu koefisien pada dinding serta atap. Nilai C_p untuk tekanan eksternal pada dinding dapat dilihat pada Tabel 2.7, sedangkan untuk tekanan eksternal pada atap dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Koefisien Tekanan Eksternal Dinding

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Angin Datang	Seluruh Nilai	0,8	q_z
Angin Pergi	0-1	- 0,5	q_h
	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	q_h
Dinding Tepi	Seluruh Nilai	- 0,7	q_h

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

Tabel 2.8 Koefisien Tekanan Eksternal Atap

Arah Angin	h/L	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang	C_p
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \leq 10^\circ$	$\leq 0,5$	0 sampai dengan h/2	-0,9, -0,18
		h/2 sampai dengan h	-0,9, -0,18
		h sampai dengan 2h	-0,5, -0,18
		$\geq 2h$	-0,3, -0,18
Sejajar bubungan untuk semua	$\geq 1,0$	0 sampai dengan h/2	-1,3, -0,18

Arah Angin	h/L	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang	Cp
bubungan untuk semua θ		$\geq h/2$	-0,7, -0,18

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.3.4 Beban Gempa

Beban Gempa merupakan beban dalam arah horizontal maupun vertikal dari struktur yang disebabkan oleh getaran dari aktivitas vulkanik maupun tektonik yang berasal dari kerak bumi. Berdasarkan SNI 1726:2019, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun yaitu sebesar 2%.

Perencanaan struktur gedung tahan gempa bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan terdapatnya korban jiwa dengan tiga kriteria standar (UBC 1997), yaitu :

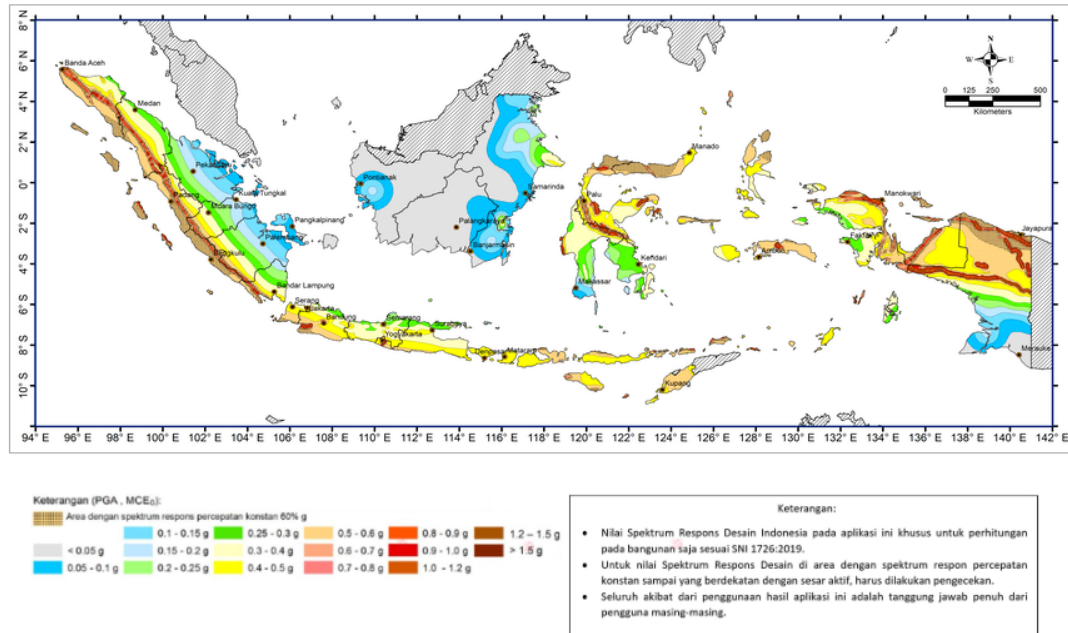
1. Tidak ada kerusakan yang disebabkan oleh gempa kecil.
2. Gempa sedang diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tanpa adanya kerusakan struktural.
3. Kerusakan struktural dan non-struktural diperbolehkan pada gempa kuat, namun tidak mengakibatkan keruntuhan pada bangunan.

Seluruh beban yang diberikan pada bangunan harus dapat dipikul oleh tanah agar tidak terjadi penurunan yang terjadi secara signifikan. Prosedur gaya lateral statik ekuivalen dan analisis dinamik spektrum respons ragam sering digunakan dalam menganalisis beban gempa yang terjadi pada struktur. Prosedur analisa desain seismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung mengacu pada SNI 1726:2019 tentang perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam menganalisis beban gempa.

2.3.4.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Wilayah Indonesia dipetakan berdasarkan tingkat resiko gempa yang ditentukan atas dasar besarnya percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration, PGA*). Parameter percepatan gempa batuan dasar terdiri dari

percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) yang harus ditetapkan dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun. Berikut merupakan gambar peta kegempaan Indonesia yang terlampir pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta PGA MCEg

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.4.2 Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2019, Pasal 4.1.2, kategori risiko bangunan disesuaikan dengan jenis pemanfaatan atau kegunaan dari bangunan yang telah direncanakan. Kategori risiko bangunan untuk gedung dan non gedung dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV	II
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan.	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.4.3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Sesuai dengan SNI 1726:2019, Pasal 4.1.2, semua kategori risiko bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e) yang dapat dilihat pada tabel Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.4.4 Klasifikasi Situs

Profil tanah pada situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu dengan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Kegunaan dari penentuan klasifikasi situs ini yaitu untuk memberikan kriteria desain seismik yang berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan berdasarkan SNI 1726:2019 seperti yang terlampir pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 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)	7750 - 1500	N/A	N/A

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	≥ 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	≤ 175	≤ 15	≤ 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisis, $PI \geq 20$. 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir ≤ 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik sebagai berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersentimentasi lemah - Lempung sangat organik atau gambut (ketebalan $H \geq 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H \geq 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI \geq 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H \geq 35$ m dengan ≤ 50 kPa		

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.4.5 Faktor Koefisien Situs

Penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 dan 1 detik (SNI 1726:2019, Pasal 6.2). Faktor tersebut meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada periode pendek (F_a) dan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.6)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.7)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R periode 1 detik

Faktor amplifikasi koefisien percepatan periode pendek (F_a) terlampir pada Tabel 2.12 berikut:

Tabel 2.12 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,7$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,25$
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	$S_s^{(a)}$					

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Sedangkan faktor amplifikasi koefisien percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) terlampir pada Tabel 2.13 berikut:

Tabel 2.13 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$S_s^{(a)}$					

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Catatan :

- a) Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis repons situs spesifik
- b) Untuk nilai antara S_S dapat dilakukan dengan interpolasi linear

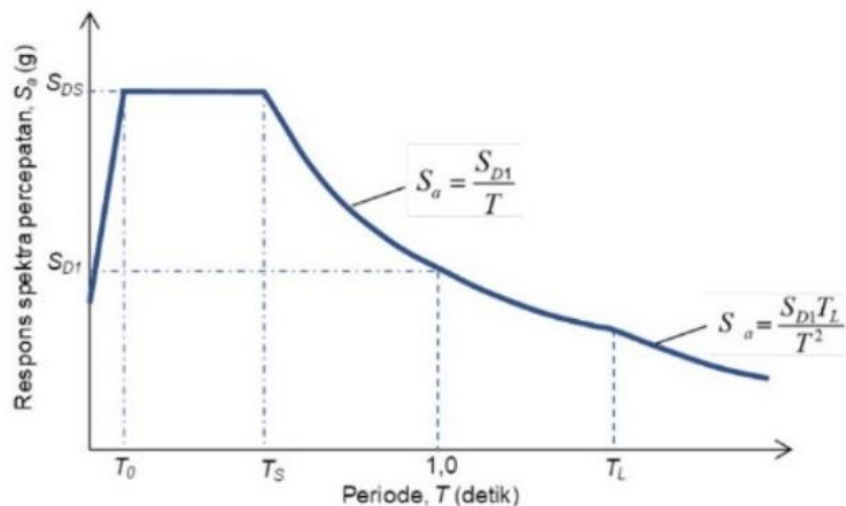
2.3.4.6 Spektrum Respons Desain

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafik antara periode getaran struktur dan respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa spesifik (SNI 1726:2019). Respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement, SD*), kecepatan maksimum (*spectral velocity, SV*), atau percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*). Faktor respon gempa dinyatakan dalam bentuk percepatan gravitasi dengan nilai bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurva nya dijelaskan dalam respon spektra desain. Penentuan parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) serta periode 1 detik (S_{D1}) dituliskan dalam persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.8)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.9)$$

Apabila respons spektrum desain dibutuhkan dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dirumuskan dengan mengikuti beberapa ketentuan dan mengacu pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik Spektrum Respons Desain

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

1. Setiap periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a harus diambil menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.10)$$

2. Setiap periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L , spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.11)$$

4. Untuk periode yang lebih besar dari T_L , spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.12)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektrum desain periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektrum desain periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

T_0 = $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_s = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_L = Periode panjang

2.3.4.7 Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik suatu bangunan ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan dan tingkat gerakan tanah akibat gempa pada lokasi situs. Kategori desain seismik dimaksudkan agar suatu bangunan dapat memenuhi pendetailan yang sesuai dengan intensitas gempa. Sesuai dengan Pasal 6.5 pada SNI 1726:2019 kategori desain seismik berdasarkan nilai SDS dan SD1 dapat dilihat pada Tabel 2.14 dan Tabel 2.15 sebagai berikut:

Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} \leq 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} \leq 0,5$	C	D
$S_{DS} \geq 0,5$	D	D

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Tabel 2.15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} \leq 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} \leq 0,2$	C	D
$S_{D1} \geq 0,2$	D	D

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Catatan : Lokasi dengan nilai $S_1 \geq 0,75$ g, maka $K_{DS} = E$, untuk kategori risiko I, II, III, dan $K_{DS} = F$, untuk kategori risiko IV.

2.3.4.8 Parameter Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 terdapat beberapa parameter yang harus terpenuhi oleh elemen-elemen pemikul gaya seismik terdiri dari koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d). Koefisien modifikasi respons (R) digunakan untuk mempertimbangkan karakteristik dari sistem yang terpilih. Besaran nilai koefisien rancang yang diatur pada Pasal 7.2.2 untuk sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus terlampir pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Faktor R, Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sisitem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Keterangan :

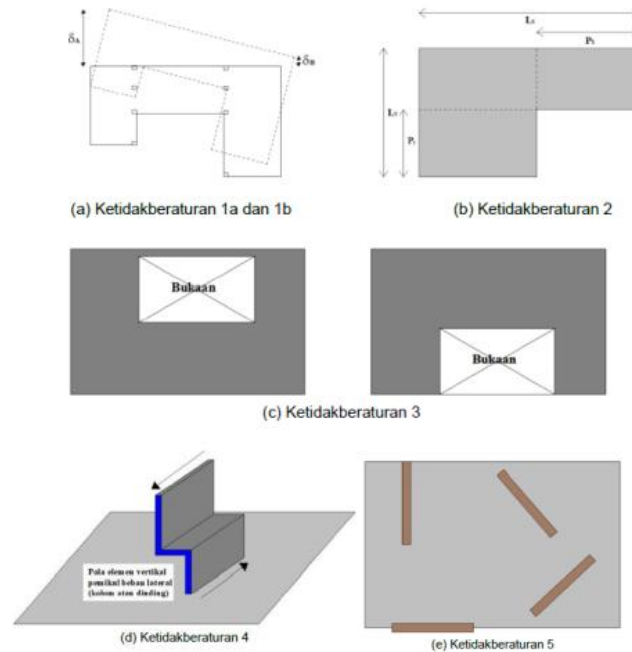
TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diizinkan

2.3.5 Ketidakberaturan Struktur

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak berdasarkan pada kriteria dalam Pasal 7.3.2 (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Klasifikasi tersebut harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal maupun vertikal dari struktur. Ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1a, 1b atau 2 tidak harus ditinjau apabila rasio simpangan antar lantai akibat gaya seismik lateral desain yang nilainya lebih

besar dari 130% rasio simpangan antar lantai tingkat di atasnya tidak ada. Berikut ini merupakan ketidakberaturan struktur secara horizontal sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.1 yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan Tabel 2.17.



Gambar 2.3 Ketidakberaturan Horizontal (a) Tipe 1a dan 1b (b) Tipe 2 (c) Tipe 3 (d) Tipe 4 (e) Tipe 5

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Tabel 2.17 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

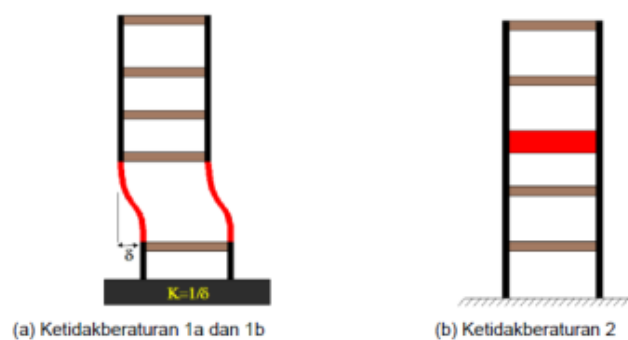
Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan	7.3.3.4 7.3.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	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

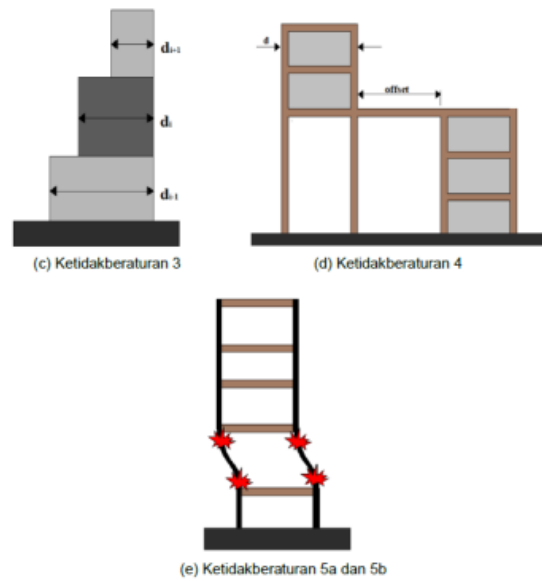
	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
	ketidakberaturan torsi dalam Pasal-Pasal referensi berlaku hanya struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.		
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk torsi tak terduga $A_x = 1,0$, 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 struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	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 struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 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	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.		
4. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	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.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Sedangkan ketidakberaturan struktur secara vertikal ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan Tabel 2.18 sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.2.





Gambar 2.4 Ketidakberaturan Vertikal (a) Tipe 1a dan 1b (b) Tipe 2 (c) Tipe 3 (d) Tipe 4 (e) Tipe 5a dan 5b

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Tabel 2.18 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.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E dan F
2.	Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif di	Tabel 16	D, E, dan F

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
	sebrang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan di bawahnya tidak perlu ditinjau.		
3.	Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebrang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di atasnya	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.	7.3.3.3 7.3.3.4 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.	7.3.3.1 Tabel 16	E, dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B, dan C D, E, dan F

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.6 Analisis Statik Ekuivalen

2.3.6.1 Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan jumlah gaya horizontal yang bekerja pada dasar bangunan akibat pengaruh gempa (Erwinsyah 2013). Gaya geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (2.13)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

2.3.6.2 Koefisien Respons Seismik (C_s)

Penentuan koefisien respons seismik dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektrum desain periode pendek

R = Koefisien modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung tidak harus melebihi nilai C_s maksimum yang terdapat pada 2 persamaan berikut:

Untuk $T \leq T_L$:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Untuk $T \geq T_L$:

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.16)$$

Nilai C_s yang dihitung pada persamaan pertama tidak boleh kurang dari nilai C_s minimum sebagai berikut:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

Keterangan :

S_{D1} = Parameter percepatan respons spektrum desain periode t detik

S_1 = Parameter percepatan respons spektrum maksimum

T = Periode getar fundamental struktur

R = Koefisien modifikasi repons

2.3.6.3 Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif struktur harus menyertakan seluruh beban mati dan minimum 25% beban hidup lantai sesuai pada Pasal 7.7.2, SNI 1726:2019.

2.3.6.4 Periode Alami Struktur (T)

Periode alami struktur merupakan waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk melakukan 1 siklus ayunan dalam satuan detik. Pada umumnya, dipengaruhi oleh ketidakberaturan, jumlah lantai, dimensi rangka bangunan, posisi serta panel antar ruangan pada bangunan. Periode alami tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang di hitung (C_u) dan tidak boleh kurang dari periode fundamental pendekatan (T_a). Apabila nilai T tidak tersedia dalam melakukan analisis, maka diizinkan langsung menggunakan periode alami pendekatan (T_a) yang dinotasikan dalam persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.18)$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t dan x = Koefisien

Nilai parameter periode pendekatan diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1 seperti pada Tabel 2.19 berikut:

Tabel 2.19 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau		

Tipe Struktur	C _t	x
dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :	0,724	0,8
- Rangka baja pemikul momen	0,046	0,9
- Rangka beton pemikul momen		
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,073	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,073	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,048	0,75

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

Sedangkan pada struktur dinding geser batu bata ataupun beton dengan ketinggian tidak lebih dari 36,6 m, perhitungan periode alami pendekatan (T_a) diizinkan menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.19)$$

Dengan nilai C_w dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)\right]} \quad (2.20)$$

Keterangan :

h_n = Ketinggian struktur (m)

A_B = Luas dasar struktur (m²)

A_i = Luas badan dinding geser ke-i (m²)

D_i = Panjang dinding geser ke-i

X = Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau

Adapun nilai batas atas periode fundamental dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$T = C_u \times T_a \quad (2.21)$$

Keterangan :

T = periode fundamental (detik)

C_u = koefisien periode batas atas

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

Dengan nilai C_u sesuai dengan SNI 1726:2019 pada Pasal 7.9.1.4 seperti yang tertera dalam Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

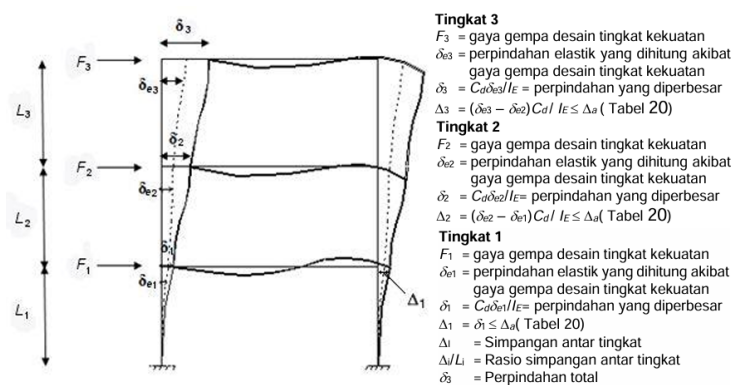
Parameter Percepatan Respon Spektral Desain Pada 1 detik S_{D1}	Koefisien, C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

2.3.6.5 Simpangan Antar Lantai

Simpangan adalah perpindahan lateral yang relatif antara dua tingkat bangunan atau simpangan mendatar tiap tingkat bangunan yang diukur dari lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, simpangan tiap lantai harus dihitung berdasarkan perbedaan simpangan yang terjadi pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang di tinjau.

Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung simpangan yaitu faktor keutamaan struktur gedung (I_e) dan faktor amplifikasi defleksi (C_d). Adapun ilustrasi mengenai simpangan yang terjadi pada struktur dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

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

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta x_e}{I_e} \quad (2.22)$$

Keterangan :

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δx_e = simpangan di tingkat x yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

Simpangan tiap lantai desain yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan tiap lantai izin sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726:2019 yang terlampir pada Tabel 2.21 berikut:

Tabel 2.21 Simpangan Antar Lantai Izin

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

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

$$\Delta_{izin} = 0,02 \times h$$

2.3.6.6 Pengaruh P-Delta

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

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

Keterangan :

θ = koefisien stabilitas

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN)

Δ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam penentuan simpangan antar lantai

I_e = faktor keutamaan gempa

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

C_d = faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum yang ditentukan dengan persamaan berikut

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

Keterangan :

θ_{max} = koefisien stabilitas maksimum

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat x dan x-1, rasio ini diizinkan secara konservatif diambil 1,0

2.4 Kombinasi Pembebanan

Dalam merencanakan pembebanan ada beberapa kombinasi yang harus diperhitungkan, dimana hasil dari kombinasi pembebanan ini akan menghasilkan efek beban terfaktor dan desain keseluruhan gedung yang harus mempunyai kekuatan desain yang sama atau lebih besar dari efek yang ditimbulkan pada kombinasi tersebut. Berdasarkan SNI 1726:2019, terdapat dua metode kombinasi pembebanan, yaitu kombinasi metode ultimate yang diatur pada Pasal 4.2.2 dan metode layan yang diatur pada Pasal 4.2.3.

2.4.1 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit

Kombinasi beban dasar untuk metode ultimit digunakan beberapa kombinasi sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
4. 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r atau R)

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

Apabila kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik, maka dapat digunakan kombinasi sebagai berikut:

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

$$7. \quad 0,9 D + E_v + E_h$$

Keterangan :

$$E_h \quad = \rho \cdot Q_E$$

$$E_v \quad = 0,2 S_{DS} \cdot D$$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3,4, dan 6 diizinkan sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila L_o dalam SNI 1727:2019 kurang dari sama dengan $4,78 \text{ kN/m}^2$, kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2.4.2 Kombinasi Pembebanan Metode Layan

Kombinasi pembebanan dasar dengan menggunakan metode layan dapat digunakan beberapa kombinas sebagai berikut:

$$1. \quad D$$

$$2. \quad D + L$$

$$3. \quad D + (L_r \text{ atau } R)$$

$$4. \quad D + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$$

$$5. \quad D + 0,6 W$$

$$6. \quad D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$$

$$7. \quad 0,6 D + 0,6 W$$

Apabila kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik, maka dapat digunakan kombinasi sebagai berikut:

$$8. \quad D + 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$$

$$9. \quad D + 0,525 E_v + 0,525 E_{mh} + 0,75 L$$

$$10. \quad 0,6 D - 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$$

Keterangan :

$$E_{mh} \quad = \Omega_o \cdot Q_E$$

2.5 Dinding Geser

Dinding geser merupakan dinding yang berfungsi sebagai pengaku vertical dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang

dirancang sebagai penahan gaya geser dan gaya lateral akibat gempa bumi (Manafe dkk., 2024). Sifat kekakuan pada dinding geser ini mengakibatkan deformasi (lendutan) arah horizontal menjadi kecil.

Pada umumnya, dinding geser dirancang untuk menahan beban vertikal maupun beban lateral akibat gempa, karena sebagian besar beban gempa diterima oleh dinding geser. Dalam perancangan dinding geser yang baik terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti pemilihan bentuk dinding, lokasi penempatan serta bentuk ragam keruntuhannya. Biasanya dinding geser ditempatkan di luar, di dalam ataupun ruangan inti yang memuat ruang lift atau tangga .

Simpangan yang terjadi dipengaruhi oleh ketinggian dari gedung. Semakin tinggi suatu gedung tersebut maka simpangan horizontal yang diakibatkan oleh gaya lateral akan semakin besar (Kurnia dkk., 2018). Oleh karena itu dinding geser sering digunakan pada struktur bangunan tingkat tinggi dengan tujuan memperkaku struktur sehingga simpangan yang terjadi dapat berkurang.

Gaya lateral akibat beban gempa maupun beban angin yang diterima oleh struktur gedung, akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal. Kemudian gaya tersebut akan ditahan oleh dinding geser karena mempunyai kekakuan yang besar (Nursani dkk., 2023). Dinding geser seringkali dianggap sebagai balok tebal karena kekakuannya dan interaksi terhadap gaya lateral serta lentur terhadap momen guling (*overtuning*).

2.6 Fungsi Dinding Geser

Dinding geser memiliki 2 fungsi utama, yaitu memberikan kekuatan serta kekakuan terhadap struktur bangunan (Kurnia dkk., 2018).

1. Kekuatan

Dinding geser didesain untuk memberikan kekuatan lateral yang diperlukan struktur untuk menahan gaya lateral yang terjadi. Ketika dinding geser cukup kuat, gaya lateral yang terjadi akan disalurkan ke elemen struktur lainnya yang berada pada jalur di bawahnya seperti balok, lantai maupun fondasi.

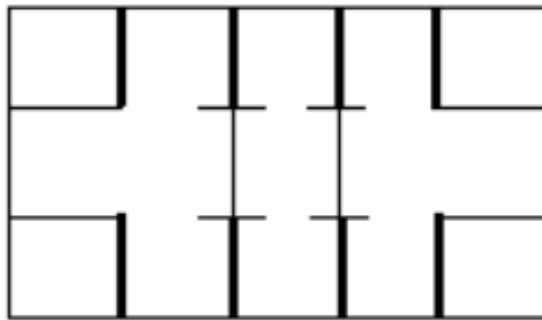
2. Kekakuan

Pada saat dinding geser bekerja, dinding akan memberikan kekakuan pada struktur untuk mengurangi goyangan yang terjadi pada lantai dan atap bangunan.

2.7 Jenis-jenis Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser diklasifikasikan dalam tiga jenis (Usmat I dkk., 2019), yaitu *bearing walls*, *frame walls*, dan *core wals*.

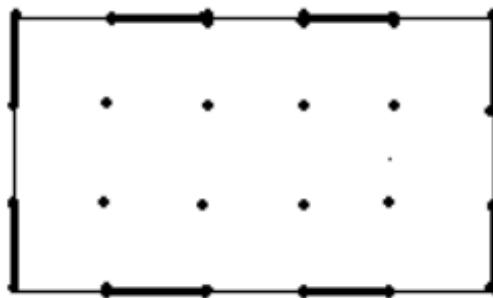
1. *Bearing walls*, merupakan dinding geser yang berfungsi tidak hanya sebagai elemen pembatas ruang, tetapi juga sebagai pemikul sebagian besar beban gravitasi. Dinding ini akan memikul beban gravitasi akibat beban mati ataupun beban hidup maupun beban lateral pada gedung. Beban-beban dari elemen struktur tersebut akan ditransfer langsung ke sistem fondasi bangunan. Seringkali dinding geser jenis ini dimanfaatkan sebagai partisi. Ilustrasi *bearing walls* terlampir pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Bearing Walls*

Sumber: (Usmat I dkk., 2019)

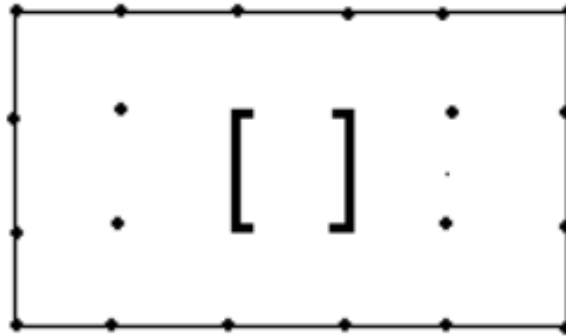
2. *Frame walls*, merupakan dinding geser yang berfungsi untuk menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Dinding-dinding seperti ini dibuat atau ditempatkan diantara baris kolom dan terintegrasi dengan sistem rangka portal dalam meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur bangunan. Ilustrasi *frame walls* terlampir pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Frame Walls*

Sumber: (Usmat I dkk., 2019)

3. *Core walls*, merupakan dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti atau pusat dalam gedung, yang biasanya tempat-tempat tersebut diisi tangga atau poros lift. Dinding ini memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan yang paling ekonomis. Ilustrasi *core walls* terlampir pada Gambar 2.8.



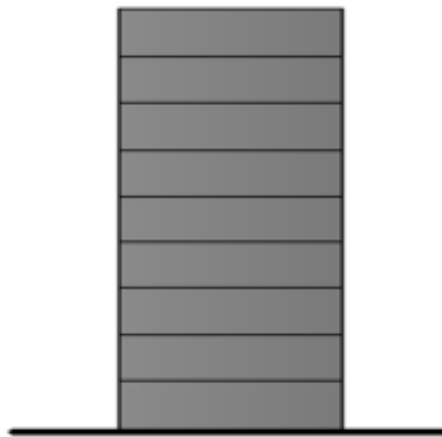
Gambar 2.8 *Core Walls*

Sumber: (Usmat I dkk., 2019)

Berdasarkan geometrinya, dinding geser terbagi dalam beberapa jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Dinding geser kantilever (*free standing shear wall*)

Sebuah dinding geser tanpa adanya lubang-lubang atau celah yang berpengaruh penting terhadap perilaku struktur tersebut. Dinding geser ini terbagi menjadi dua macam, yaitu dinding geser kantilever daktail, dan dinding geser kantilever daktailitas terbatas.

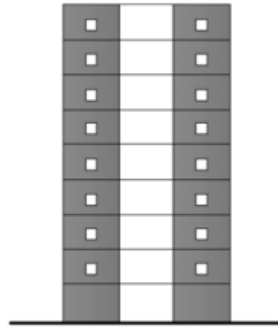


Gambar 2.9 *Free Standing Shear Wall*

Sumber: (Alrasyid & Utama, 2024)

2. Dinding geser dengan bukaan (*opening shear wall*)

Dinding geser ini merupakan dinding geser yang mempunyai bukaan-bukaan di dalamnya. Bukaan tersebut biasanya berfungsi untuk penempatan jendela, pintu, atau saluran-saluran mekanikal dan elektrik (ME) tanpa mempengaruhi kekakuan atau tegangan pada dinding.

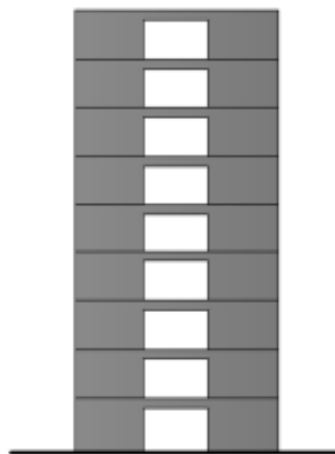


Gambar 2.10 *Opening Shear Wall*

Sumber: (Alrasyid & Utama, 2024)

3. Dinding geser berangkai (*coupled shear wall*)

Dinding geser berangkai adalah dinding geser yang terdiri dari dua atau lebih dinding kantilever yang mempunyai kemampuan untuk membentuk suatu mekanisme perletakan lentur pada alasnya. Dinding kantilever tersebut dirangkai oleh balok-balok perangkai yang mempunyai kekuatan yang cukup untuk memindahkan gaya dari satu dinding ke dinding yang lain.



Gambar 2.11 *Coupled Shear Wall*

Sumber: (Alrasyid & Utama, 2024)

2.8 Perilaku Struktur Rangka Dinding Geser (*Dual System*)

Semakin tinggi sebuah bangunan, penggunaan struktur rangka saja sebagai penahan gaya lateral akibat gempa menjadi kurang efisien dan tidak ekonomis. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan untuk memperbesar dimensi balok dan kolom agar mampu menahan gaya tersebut, yang pada akhirnya meningkatkan biaya konstruksi dan berat struktur. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan lateral secara lebih efisien, digunakanlah sistem struktur ganda (*dual system*), yaitu kombinasi antara rangka kaku dan dinding geser (Mayasari dkk., 2017).

Dalam sistem ini, dinding geser berfungsi utama menahan gaya lateral, sementara rangka kaku tetap berperan mendukung gaya gravitasi dan sebagian gaya lateral, memberikan redundansi dan perilaku struktur yang lebih aman. Dinding geser dan kolom struktural dihubungkan dengan balok yang kuat pada setiap lantai bangunan. Hubungan yang kuat antara kolom, balok dan dinding geser memungkinkan struktur rangka di dalam gedung untuk berinteraksi dengan dinding geser. Selain itu, penggunaan sistem ganda ini, deviasi lateral akan sangat berkurang karena bertambahnya jumlah lapisan struktural .

2.9 Persyaratan Tulangan Dinding Geser

Tulangan geser harus disediakan pada dua arah tegak lurus dengan dinding. Penentuan rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan horizontal adalah sebagai berikut :

1. Apabila gaya geser didesain $V_u \geq 0,083 A_{CV} \lambda \sqrt{f'c}$, maka rasio penulangan ρ_l dan ρ_t tidak boleh kurang dari 0,0025.

$$0,0025 \geq \rho_l = \frac{A_{SV}}{A_{CV}} \quad (2.25)$$

$$0,0025 \geq \rho_t = \frac{A_{SV}}{A_{CV}} \quad (2.26)$$

Keterangan :

ρ_l = rasio tulangan yang tegak lurus terhadap luas bruto beton

ρ_t = rasio tulangan yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut

2. Apabila gaya geser didesain $V_u \leq 0,083 A_{CV} \lambda \sqrt{f'c}$, maka berdasarkan SNI 2847:2019 pada Pasal 11 digunakan rasio penulangan minimum seperti dinding biasa.

- a. Rasio minimum tulangan vertikal terhadap luas bruto penampang beton (ρ_l) harus diambil 0,0012 untuk tulangan ulir berdiameter tidak lebih dari D16 dan f_y tidak kurang dari 420, serta 0,0015 untuk tulangan ulir diameter lainnya.
 - b. Rasio minimum tulangan vertikal terhadap luas bruto penampang beton (ρ_t) harus diambil 0,0020 untuk tulangan ulir berdiameter tidak lebih dari D16 dan f_y tidak kurang dari 420, serta 0,0025 untuk tulangan ulir diameter lainnya.
3. Jarak tulangan pada masing-masing arah dinding geser tidak boleh melebihi 450 mm.
 4. Paling sedikit harus dipasang tulangan dalam sebanyak dua lapis apabila $V_u \geq 0,083 A_{CV} \lambda \sqrt{f'c}$.

2.10 Kuat Geser

Kuat geser dari sebuah dinding geser dikatakan mencukupi apabila kuat geser terfaktor lebih besar dari kuat geser nominal. Berdasarkan SNI 2847:2019 pada Pasal 18.10.4 kuat geser nominal dinding geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = A_{CV}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'c} + \rho_t f_y) \quad (2.27)$$

Keterangan :

α_c = 0,25 untuk $h_w/l_w \leq 1,5$.

= 0,17 untuk $h_w/l_w \geq 2,0$.

= Interpolasi linear apabila h_w/l_w diantara 1,2 dan 2,0.

h_w = tinggi dinding.

l_w = panjang dinding.

2.11 Penelitian Terdahulu

1. Leonardus Setia Budi Wibowo & Dermawan Zebua., 2021, dalam penelitiannya melakukan analisis pengaruh variasi lokasi dinding geser terhadap simpangan lateral pada struktur gedung beton bertulang 5 lantai yang direncanakan simetris. Penelitian ini menggunakan pendekatan numerik dengan membuat empat model struktur yang dirancang mengikuti standar SNI, yaitu satu model tanpa dinding geser (SW0) dan tiga model dengan dinding

geser dengan penempatan yang berbeda (SW1, SW2, SW3). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan dinding geser secara signifikan mampu mengurangi simpangan lateral pada lebih dari 80% dibandingkan dengan model tanpa dinding geser, dengan masing-masing nilai simpangan pada atap yaitu; SW0 (77,74 mm), SW1 (12,14 mm), SW2 (15,20 mm), dan SW3 (12,44 mm). Dari ketiga model tersebut didapat model SW1 terbukti paling efektif dalam menahan gaya lateral dan memenuhi batas simpangan tiap lantai dengan penempatan dinding geser pada inti dan sisi luar bangunan.

2. Nurul Angraini Usmat I, Imran, & Mufti A. Sultan ., 2019, menganalisis pengaruh variasi letak dinding geser terhadap perilaku struktur gedung 6 lantai akibat beban gempa di Kota Ternate. Peneliti membuat empat variasi layout dinding geser, dengan layout 1 simetris di sisi terluar, layout 2 simetris dekat pusat massa, layout 3 simetris pada satu sumbu kuat, dan layout 4 asimetris bagian dalam. Parameter yang ditinjau meliputi waktu getar alami, partisi massa, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan interaksi elemen rangka dengan dinding geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan dinding geser meningkatkan kekakuan struktur dan menurunkan waktu getar hingga lebih dari 50%. Dari keempat layout tersebut, berdasarkan hasil analisis dari parameter didapat variasi dinding geser yang diletakan simetris mendekati pusat massa dinilai paling optimum dengan variasi yang lainnya.
3. Arif Kurnia, Sri Hartati Dewi, & Mahadi Kurniawan., 2018, dalam penelitiannya melakukan analisis pengaruh posisi dinding geser terhadap kinerja struktur pada gedung 8 lantai tidak beraturan dengan menggunakan metode respon spektrum. Penelitian ini membandingkan 4 model dinding geser, yaitu satu model tanpa dinding geser dan 3 model lainnya dengan posisi dinding geser yang berbeda. Parameter yang dianalisis meliputi *story shear*, simpangan maksimum serta simpangan antar lantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung tanpa dinding geser mengalami simpangan yang melebihi batas izin. Penempatan dinding geser mampu mereduksi simpangan, namun terdapat beberapa lantai yang melebihi batas izin arah Y pada. Model 3 menunjukkan kinerja yang paling optimum yang mampu mereduksi simpangan

maksimum, dari 157,57 mm menjadi 94,46 mm pada arah X, dan pada arah Y dari 193,13 mm menjadi 119,24 mm.

4. Ogi Pratama Jaya, Vike Itteridi, & Edowinsyah., 2020, melakukan penelitian analisis pengaruh posisi dinding geser terhadap kekakuan dan kelenturan struktur gedung 8 lantai di Kota Pagar Alam. Tiga model struktur SPRMK yang dibandingkan, yaitu model tanpa dinding geser, dinding geser tipe I pada tengah bangunan, dan dinding geser tipe L pada sudut bangunan. Analisis dilakukan terhadap parameter perpindahan (*displacement*), simpangan antar lantai, dan kebutuhan tulangan pada elemen struktur. Hasil dari analisis pada setiap model menunjukkan bahwa perpindahan maksimum arah X pada model tanpa dinding geser sebesar 0,0076 m, pada model dinding geser tipe I sebesar 0,0024 m, dan pada dinding geser tipe L hanya 0,001 m. Simpangan antar lantai pada tipe L menunjukkan nilai yang paling kecil yaitu 0,000038 kN/m² dibandingkan dengan tipe I yang mencapai 0,000092 kN/m².
5. Bernadete Novena Wijaya, dan Pratama Haditua Siregar, 2022, dalam penelitiannya melakukan analisis pengaruh konfigurasi dinding geser terhadap respon struktur gedung tujuh lantai menggunakan metode analisis statik ekuivalen. Terdapat 3 model, yaitu struktur tanpa dinding geser, serta dua konfigurasi dinding geser tipe I dan tipe L yang diletakan pada posisi yang sama. Parameter utama yang dianalisis meliputi periode getar dan simpangan antar lantai sebagai representasi kekakuan dan stabilitas struktur. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa penggunaan dinding geser secara signifikan mampu mengurangi periode getar dan simpangan antar lantai. Dinding geser tipe I menunjukkan periode getar sebesar 2,008 detik dan simpangan antar lantai sebesar 148,893 mm pada arah X, sebesar 1,884 detik untuk periode getar dan 129,697 mm nilai simpangan antar lantai pada arah Y. Sedangkan dinding geser tipe L menunjukkan periode getar sebesar 1,506 detik dan simpangan antar lantai sebesar 84,705 mm pada arah X, sebesar 1,496 detik untuk periode getar dan 83,478 mm nilai simpangan antar lantai pada arah Y. Berdasarkan kedua parameter tersebut, konfigurasi dinding geser tipe L memberikan kinerja lebih baik dalam menahan beban lateral akibat gempa meskipun pada penempatan yang sama.