

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Dasar atau acuan yang berupa teori-teori atau temuan-temuan melalui hasil berbagai penelitian sebelumnya merupakan hal yang sangat perlu dan dapat dijadikan sebagai data pendukung. Salah satu data pendukung yang menurut peneliti perlu dijadikan bagian tersendiri adalah penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang sedang dibahas dalam penelitian ini. Berikut ini penelitian terdahulu yang telah dipilih penulis:

1. Perencanaan Struktur Gedung Asrama Kabupaten Kepulauan Aru di Jayapura.

Anita Forsaly (2023). Jurnal ini dipublikasikan oleh Cenderawasih Civil Engineering (CCE) di Jayapura. Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk merencanakan Gedung Asrama Kabupaten Kepulauan Aru di Jayapura. Perencanaan ini meliputi pelat, balok dan kolom. Analisis perhitungan struktur gedung menggunakan bantuan ETABS V.19 dengan tujuan mempercepat perhitungan, sedangkan penggambaran menggunakan program Autocad. Hasil desain struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Menggunakan mutu beton (f'_c) = 30 Mpa dan mutu tulangan (f_y) = 420 Mpa. Pelat lantai dan atap digunakan tebal 130 mm. Balok menggunakan B1 400 x 500 mm, B2 300 x 400 mm. Kolom menggunakan K1 700 x 700 mm , K2 600 x 600 mm.

2. Perencanaan Struktur Gedung 3 Lantai Asrama Mahasiswa (Rusunawa) Putri II Universitas PGRI Semarang Menggunakan Metode SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah).

Andrian Majid Khobad, Muhammad Ryan Ardian, Ibnu Toto Husodo, Mohammad Debby Rizani (2022). Jurnal ini dipublikasikan oleh Jurnal Teknik Sipil Giratory UPGRIS. Gedung direncanakan berdasarkan hasil *Cone Penetration Test* (CPT), diketahui bahwa gedung dibangun di atas tanah dengan kondisi tanah lunak (Kelas situs SE). Perhitungan struktur menggunakan metode SRPMM (sistem rangka pemikul momen menengah) yang mengacu pada SNI 1726- 2019: Tata Cara

Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Sedangkan pembebanan non gempa dapat disesuaikan dengan SNI 1727-2013: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Struktur sekunder berupa pelat dan tangga yang dipikul struktur primer yaitu balok, kolom dan dinding geser. Struktur bawah terdiri dari sloof dan pile cap, dengan pondasi tiang bor. Bahan utama penyusun struktur adalah beton bertulang, dengan mengacu pada SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Dalam persyaratan metode SRPMM komponen struktur yang diperhatikan adalah kolom, balok, hubungan balok-kolom dan pelat. Dalam hal ini struktur bangunan gedung dapat merespon gempa dengan kategori desain seismik (KDS) A, B, dan C, tanpa mengalami keruntuhan. Hasil dari perhitungan struktur primer dan struktur bawah gedung diaplikasikan dalam gambar teknik yang terdiri dari gambar arsitektur, gambar denah struktur, dan gambar detail penulangan.

3. Perencanaan Struktur Atas Gedung Hunian 12 Lantai Menggunakan SRMPK. Almufid & Syarifah Hidayah (2019).

Jurnal ini dipublikasikan oleh Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang. Letak Indonesia yang berada diantara empat sistem terletak pada zona tektonik aktif menyebabkan Indonesia memiliki tingkat resiko getaran gempa yang cukup tinggi. Yang akan terjadi gempa, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri. Maka dari itu bangunan hunian perlu direncanakan untuk memiliki ketahanan terhadap gempa. Perencanaan bangunan tahan gempa pada umumnya didasarkan pada analisa elastik yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi *ultimit* (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa adalah pada saat kondisi inelastis. Adapun daktil penuh dapat menjadi alternatif dalam perencanaan struktur tahan gempa. Tujuan dari studi ini adalah dapat memahami perencanaan bangunan gedung hunian 12 lantai yang tahan gempa dengan menggunakan (SRPMK) yang merupakan sistem struktur dengan faktor daktil yang tinggi. Dari hasil perencanaan didapat hasil dimensi dan penulangan struktur yang lebih efisien dan sederhana.

4. Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Semarang.

Adhitya Pratama, Januar Oni Bagus Amandani, Hardi Wibowo & Parang Sabdono (2018). Jurnal ini dipublikasikan oleh Jurnal Karya Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Struktur Gedung Kuliah Fakultas Ekonomi UNNES Semarang didesain dengan mengacu pada SNI 03-2847-2013, SNI 03-1726-2012, dan PPIUG 1987. Metode *dynamic respons spectrum* digunakan dalam menganalisis gempa. Struktur terletak pada kelas situs tanah sedang dan termasuk kedalam Kategori Desain Seismik tipe D, maka gaya gempa pada struktur direncanakan dengan menggunakan konfigurasi struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem rangka berupa rangka yang tersusun dari balok dan kolom, dimana kolom dibuat lebih kuat dari balok (*strong column weak beam*). Untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur pada pertemuan balok-kolom, maka sendi plastis direncanakan terjadi di balok sedangkan pada kolom sendi plastis hanya terjadi di kolom bagian atas pondasi. Program analisis struktur digunakan untuk membantu pemodelan struktur dan menghitung gaya dalam yang bekerja pada struktur. Material yang digunakan yaitu beton f'_c 30 MPa, sedangkan untuk besi tulangan f_y 400 MPa dan 240 MPa.

5. Analisa Perencanaan Struktur Beton Gedung Kuliah Kampus 2 IAIN Kota Metro Menggunakan Program ETABS (*Extended Three Analysis Building Systems*).

Sari Utama Dewi & M. Iqbal Pratama (2018). Jurnal ini dipublikasikan oleh TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro. Dalam perhitungan struktur bangunan gedung dapat dilakukan secara manual ataupun komputerisasi menggunakan aplikasi yang sudah ada. Untuk perhitungan secara komputerisasi dapat dilakukan dengan menggunakan program ETABS (*Extended Three Analysis Building Systems*) dengan tetap mengacu pada peraturan - peraturan yang berlaku di Indonesia seperti: Tata cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang (SNI 03-2847-2002). Dari keseluruhan hasil perhitungan dengan secara manual dan komputerisasi dengan tetap mengacu pada peraturan – peraturan yang sudah ada, maka akan didapatkan

rencana gambar struktur yang akan dibangun dilengkapi dengan perhitungan dan detail penulangan pada tiap sub yang akan dibangun. Kecermatan, ketelitian dan ketelatenan sangat dibutuhkan dalam merencanakan suatu bangunan.

2.2 Tinjauan Umum

Struktur bangunan merupakan bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah. Fungsi struktur bangunan dapat disimpulkan untuk memberi kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk mencegah sebuah bangunan mengalami keruntuhan. Struktur merupakan bagian bangunan yang menyalurkan beban-beban. Beban-beban tersebut menumpu pada elemen-elemen untuk selanjutnya disalurkan ke bagian bawah tanah bangunan, sehingga beban-beban tersebut akhirnya dapat di tahan (Ariestadi, 2008).

Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari dua bagian, yaitu struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Struktur bawah (*lower structure*) yang dimaksudkan adalah pondasi dan struktur bangunan yang berada dibawah permukaan tanah, sedangkan yang dimaksud dengan struktur atas (*upper structure*) adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti balok, kolom pelat, tangga, dan lain-lainnya. Setiap komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda di dalam sebuah struktur.

Kriteria dalam mendesain suatu bangunan secara umum harus dapat menahan beban yang direncanakan, memiliki durabilitas yang tinggi, memiliki kesesuaian dengan lingkungan sekitar, ekonomis, dan mudah perawatannya. Dalam perencanaan struktur bangunan diharuskan mempunyai kekuatan terhadap perilaku pembebanan baik beban luar maupun beban dari berat bangunan itu sendiri terutama beban gempa agar dapat berfungsi sesuai dengan umur rencana bangunan tersebut.

2.3 Beton Bertulang

Struktur beton bertulang banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat rendah, tingkat menengah sampai bangunan tingkat tinggi. Struktur beton bertulang merupakan struktur yang paling banyak digunakan orang dibandingkan

dengan jenis struktur lainnya. Struktur beton bertulang lebih murah dan lebih monolit dibandingkan dengan struktur baja maupun struktur komposit. Karena elemen-elemen pada struktur beton bersifat monolit, maka struktur ini mempunyai perilaku yang baik dalam memikul beban gempa (Paramaatha, 2018).

Beton bertulang (*Reinforced concrete*) adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan standar ini (SNI 2847:2019). Beton bertulang merupakan bahan yang tergolong unik dimana dua jenis bahan, yaitu beton dan baja tulangan digunakan secara bersamaan. Hal ini berbeda dengan penggunaan bahan kayu dan baja, dimana kedua bahan tersebut hanya terdiri dari satu bahan saja. Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah, dan baja tulangan yang ditanamkan dalam beton yang dapat menambah kekuatan tarik yang diperlukan (Wang & Salmon, 1985).

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

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

Baja tulangan sendiri ada dua jenis, yaitu baja tulangan polos (BjTP) dan baja tulangan sirip/ulir (BjTS). Baja tulangan polos memiliki penampang bundar dengan permukaan rata tidak berulir/bersirip, pada baja tulangan polos tidak mengandung lipatan, gelombang, retakan, serpihan hanya boleh berkarat pada permukaan. Baja tulangan sirip/ulir memiliki sirip ulir melintang dan memanjang

yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang yang relatif terhadap beton (SNI 2052:2017).

Mengacu pada (SNI 2052:2017) tentang Baja Tulangan Beton dimana baja tulangan dikelompokkan berdasarkan diameter dan berat per meter baja tulangan seperti tercantum pada

Tabel 2.1 untuk baja tulangan polos (BjTP) dan Tabel 2.2 untuk baja tulangan sirip/ulir (BjTS).

Tabel 2.1 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

No	Penamaan	Diameter nominal (d)	Luas penampang nominal (A)	Berat nominal per meter*
		mm	mm ²	kg/m
1	P 6	6	28	0,222
2	P 8	8	50	0,395
3	P 10	10	79	0,617
4	P 12	12	113	0,888
5	P 14	14	154	1,208
6	P 16	16	201	1,578
7	P 19	19	284	2,226
8	P 22	22	380	2,984
9	P 25	25	491	3,853
10	P 28	28	616	4,834
11	P 32	32	804	6,313
12	P 36	36	1018	7,990
13	P 40	40	1257	9,865
14	P 50	50	1964	15,413
CATATAN: - *sebagai referensi - Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran adalah sebagai berikut: a) Luas penampang nominal (A) $A = 0,7854 \times d^2$ (mm ²) d = diameter nominal (mm) b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100}$ (kg/m)				

(Sumber: SNI 2052:2017)

Tabel 2.2 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir

No	Pena- maan	Dia- meter nominal (d)	Luas penam- pang nominal (A)	Tinggi sirip (H)		Jarak sirip melintang (P) Maks	Lebar sirip membujur (T) Maks	Berat nominal per meter
				min	maks			
		mm		mm	mm			
1	S 6	6	28	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S 8	8	50	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S 10	10	79	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S 13	13	133	0,7	1,3	9,1	10,2	1,042
5	S 16	16	201	0,8	1,6	11,2	12,6	1,578
6	S 19	19	284	1,0	1,9	13,3	14,9	2,226
7	S 22	22	380	1,1	2,2	15,4	17,3	2,984
8	S 25	25	491	1,3	2,5	17,5	19,7	3,853
9	S 29	29	661	1,5	2,9	20,3	22,8	5,185
10	S 32	32	804	1,6	3,2	22,4	25,1	6,313
11	S 36	36	1018	1,8	3,6	25,2	28,3	7,990
12	S 40	40	1257	2,0	4,0	28,0	31,4	9,865
13	S 50	50	1964	2,5	5,0	35,0	39,3	15,413
14	S 54	54	2290	2,7	5,4	37,8	42,3	17,978
15	S 57	57	2552	2,9	5,7	39,9	44,6	20,031
CATATAN: 1. Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur 2. Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip/ulir adalah sebagai berikut: a) Luas penampang nominal (A) $A = 0,7854 \times d^2$ (mm ²) d = diameter nominal (mm) b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854}{100} d^2 \times 0,7$ (kg/m) c) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d d) Tinggi sirip minimum = 0,05 d Tinggi sirip maksimum = 0,10 d e) Jumlah 2 (dua) sirip membujur maksimum = 0,25 K Keliling nominal (K) $K = 0,3142 \times d$ (mm)								

(Sumber: SNI 2052:2017)

Dalam struktur beton bertulang dimana baja tulangan sangat rentan terhadap korosi jika terjadi kontak langsung dengan cuaca dan tanah. Oleh karena

itu beton bertulang memerlukan selimut beton yang berguna untuk melindungi baja tulangan dari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya korosi. Pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan, tebal minimum selimut beton harus memenuhi ketentuan dalam Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Ketebalan Selimut Beton untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang yang Dicor di Tempat

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding	Batang D43 dan D57	40
	Balok, kolom, pedesatal dan batang tarik	Batang D36 dan yang lebih kecil	20
		Tulangan utama, Sengkang, Sengkang ikat, Spiral dan Sengkang pengekang	40

(Sumber: SNI 2847:2019)

2.4 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen balok, kolom dan joint menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial. Sistem rangka pemikul momen terbagi atas:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), yaitu rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak dan memenuhi persyaratan 18.3 dalam SNI 2847:2019. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan untuk daerah dengan risiko gempa rendah.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), yaitu rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.4 dalam SNI 2847:2019. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan untuk daerah dengan risiko gempa menengah.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK), yaitu rangka balok kolom yang dicor ditempat dan memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8 dalam SNI 2847:2019. Sistem rangka ini memiliki daktilitas penuh dan digunakan pada daerah dengan risiko gempa tinggi.

Tabel 2.4 Kategori Seismik (KDS) dan Resiko Kegempaan

Tinggi Resiko Kegempaan		
Rendah	Menengah	Tinggi
KDS: A, B	KDS: C	KDS: D, E, F
SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK

(Sumber: SNI 1726:2019)

Keterangan:

SRPMB : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa.

SRPMM : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

2.5 Pembebanan

Dalam merencanakan suatu struktur bangunan bertingkat, digunakan struktur yang mampu mendukung berat sendiri, beban angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Beban-beban yang bekerja pada struktur dihitung menurut SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.

2.5.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut (SNI 1727:2020) beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga,

dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain yang terpasang termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Berdasarkan (SNI 1727:2020) berat sendiri untuk bahan bangunan dan komponen gedung seperti pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)^a

Komponen	Beban (kN/m ²)
CEILINGS	
Acoustical fiberboard	0,05
Gypsum board (per mm thickness)	0,008
Mechanical duct allowance	0,19
Plaster on tile or concrete	0,24
Plaster on wood lath	0,38
Suspended steel channel system	0,10
Suspended metal lath and cement plaster	0,72
Suspended metal lath and gypsum plaster	0,48
Wood furring suspension system	0,12
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
Asbestos-cement shingles	0,19
Asphalt shingles	0,10
Cement tile	0,77
Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m ²)	
Book tile, 51 mm	0,57
Book tile, 76 mm	0,96
Ludowici	0,48
Roman	0,57
Spanish	0,91
Composition:	
Three-ply ready roofing	0,05
Four-ply felt and gravel	0,26
Five-ply felt and gravel	0,29
Copper or tin	0,05
Corrugated asbestos-cement roofing	0,19
Deck, metal, 20 gauge	0,12
Deck, metal, 18 gauge	0,14
Decking, 51-mm wood (Douglas fir)	0,24
Decking, 76-mm wood (Douglas fir)	0,38
Fiberboard, 13 mm	0,04
Gypsum sheathing, 13 mm	0,10
Insulation, roof boards (per mm thickness)	
Cellular glass	0,0013
Fibrous glass	0,0021
Fiberboard	0,0028
Perlite	0,0015
Polystyrene foam	0,0004
Urethane foam with skin	0,0009
Plywood (per mm thickness)	0,006
Rigid insulation, 13 mm	0,04
Skylight, metal frame, 10-mm wire glass	0,38
Slate, 5 mm	0,34
Slate, 6 mm	0,48
Waterproofing membranes:	
Bituminous, gravel-covered	0,26
Bituminous, smooth surface	0,07
Liquid applied	0,05
Single-ply, sheet	0,03

Tabel 2.5 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)^a

Komponen	Beban (kN/m ²)	
Wood sheathing (per mm thickness)		
Plywood	0,0057	
Oriented strand board	0,0062	
Wood shingles	0,14	
FLOOR FILL		
Cinder concrete, per mm	0,017	
Lightweight concrete, per mm	0,015	
Sand, per mm	0,015	
Stone concrete, per mm	0,023	
FLOORS AND FLOOR FINISHES		
Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar	1,44	
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	1,53	
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed	0,77	
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed	1,10	
Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023	0,023	
Hardwood flooring, 22 mm 0.19	0,19	
Linoleum or asphalt tile, 6 mm 0.05	0,05	
Marble and mortar on stone-concrete fill 1.58	1,58	
Slate (per mm thickness) 0.028	0,028	
Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10	1,10	
Subflooring, 19 mm 0.14	0,14	
Terrazzo (38 mm) directly on slab 0.91	0,91	
Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53	1,53	
Terrazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53	1,53	
Wood block (76 mm) on mastic, no fill 0.48	0,48	
Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base 0.77	0,77	
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)		
DOUBLE WOOD FLOOR		
Joint sizes (mm):	305-mm spacing 406-mm spacing 610-mm spacing	
	(kN/m ²) (kN/m ²) (kN/m ²)	
51 × 152	0.29 0.24 0.24	
51 × 203	0.29 0.29 0.24	
51 × 254	0.34 0.29 0.29	
51 × 305	0.38 0.34 0.29	
FRAME PARTITIONS		
Movable steel partitions	0,19	
Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side	0,38	
Wood studs, 51 × 102, unplastered	0,19	
Wood studs, 51 × 102, plastered one side	0,57	
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides	0,96	
FRAME WALLS		
Exterior stud walls:		
51 mm × 102 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding	0,53	
51 mm × 152 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding	0,57	
Exterior stud walls with brick veneer	2,30	
Windows, glass, frame, and sash	0,38	
Clay brick wythes:		
102 mm	1,87	
203 mm	3,78	
305 mm	5,51	
406 mm	7,42	
Hollow concrete masonry unit wythes:		
Wythe thickness (in mm)	102 152 203 254 305	
Density of unit (16.49 kN/m ³) with grout spacing as follows:		
No grout	1.05 1.29 1.68 2.01 2.35	
1,219 mm		1.48 1.92 2.35 2.78
1,016 mm		1.58 2.06 2.54 3,02
813 mm		1.63 2.15 2.68 3,16
610 mm		1.77 2.35 2.92 3,45
406 mm		2.01 2.68 3.35 4,02
Full grout		2.73 3.69 4.69 5,70

Tabel 2.5 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)^a

Komponen					Beban (kN/m ²)
Density of unit (19.64 kN/m ³) with grout spacing as follows:					2,39
No grout	1.25	1.34	1.72	2.11	2,97
1,219 mm		1.58	2.11	2.59	3,11
1,016 mm		1.63	2.15	2.68	3,26
813 mm		1.72	2.25	2.78	3,59
610 mm		1.87	2.44	3.02	4,17
406 mm		2.11	2.78	3.50	5,89
Full grout		2.82	3.88	4.88	
Density of unit (21.21 kN/m ³) with grout spacing as follows:					3,02
No grout	1.39	1.68	2.15	2.59	3,45
1,219 mm		1.70	2.39	2.92	3,69
1,016 mm		1.72	2.54	3.11	3,83
813 mm		1.82	2.63	3.26	4,12
610 mm		1.96	2.82	3.50	4,69
406 mm		2.25	3.16	3.93	6,37
Full grout		3.06	4.17	5.27	
Solid concrete masonry unit					
Wythe thickness (in mm)	102	152	203	254	305
Density of unit (16,49 kN/m ³)	1,53	2,35	3,21	4,02	4,88
Density of unit (19,64 kN/m ³)	1,82	2,82	3,78	4,79	5,79
Density of unit (21,21 kN/m ³)	1,96	3,02	4,12	5,17	6,27

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.5.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut (SNI 1727:2020) beban hidup adalah 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. Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat fungsi pemakaian gedung seperti benda-benda pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak dapat diganti (Kurnia & Nafi'ah, 2019). Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 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
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 finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 2.6 (Lanjutan) 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
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 <i>ballroom</i>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Tabel 2.6 (Lanjutan) 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
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, berbubung, 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 <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penutup 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) 300 (1,33)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan					

Tabel 2.6 (Lanjutan) 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
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					
Scuttles, 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 diatas 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 diatasnya	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 1727:2020)

2.5.3 Beban Angin (*Wind Load*)

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

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

- a. Pasal 27: Prosedur terarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian.
- b. Pasal 28: Prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah.
- c. Pasal 29: Prosedur terarah untuk perlengkapan bangunan gedung (konsul atap dan parapet) dan struktur lain.
- d. Pasal 31: Prosedur terowongan angin untuk setiap bangunan gedung atau struktur lain.

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

- Langkah 1 : Tentukan kategori risiko bangunan gedung.
- Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar, V .
- Langkah 3 : Tentukan parameter beban angin:
- Faktor arah angin, K_d .
 - Kategori eksposur B, C atau D.
 - Faktor topografi, K_{zt} .
 - Faktor elevasi permukaan tanah, K_e .
 - Klasifikasi ketertutupan.
 - Koefisien tekanan internal, (GC_{pi}) .
- Langkah 4 : Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h .
- Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q_z atau q_h .
- Langkah 6 : Tentukan koefisien tekanan eksternal, (GC_p) .
- Langkah 7 : Hitung tekanan angin p .

2.5.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa merupakan beban yang bekerja akibat pergerakan tanah yang diakibatkan oleh gempa. Ada beberapa metode analisis dalam memperhitungkan berapa besar beban gempa yang bekerja pada suatu struktur gedung. Secara umum terbagi atas:

1. Analisa statik ekuivalen

Metode ini digunakan untuk menganalisis beban yang bekerja pada struktur beraturan dimana beban yang bekerja merupakan hasil penyederhanaan dan

modifikasi pergerakan tanah. Beban tersebut bekerja pada suatu pusat massa lantai-lantai struktur gedung.

2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur yang pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi dua, yaitu:

- a. Analisa respons spektrum merupakan suatu analisa dengan menentukan respons dinamik struktur gedung yang berperilaku elastis penuh terhadap pengaruh suatu gempa. Metode ini merupakan suatu pendekatan terhadap beban gempa yang mungkin terjadi. Menurut (SNI 1726:2019) respons spektrum adalah suatu diagram hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan (SDK) akibat gempa tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami.
- b. Analisa riwayat hidup (*time history analysis*) merupakan suatu analisis dalam menentukan riwayat waktu respons dinamik suatu struktur gedung yang berperilaku elastis penuh (linier) maupun elastis-plastik (non-linier) terhadap pergerakan tanah akibat gempa rencana.

Analisa dinamik untuk perencanaan struktur tanah gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis digunakan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah akibat oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisa respons spektrum. Pembagian geser akibat tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisa beban statik ekuivalen.

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

2.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai mengacu pada (SNI 1727:2020) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, dan (SNI 2847:2019) tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

2.6.1 Kuat Perlu

Kekuatan perlu U dinyatakan dalam bentuk-bentuk beban-beban terfaktor, momen-momen dan gaya-gaya dalam terkait. Beban-beban terfaktor adalah beban-beban yang ditetapkan oleh peraturan pembebanan yang berlaku, kemudian dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai.

Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 2.3.1 Struktur, komponen dan pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi berikut:

$$1. \quad 1,4D \quad (2.1)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.3)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2.4)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.5)$$

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

S = beban salju

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 2.3.6, bila struktur mengalami efek beban seismik, kombinasi beban berikut harus diperhitungkan sebagai tambahan pada kombinasi dasar.

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

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_h + L + 0,2S \quad (2.6)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_h \quad (2.7)$$

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

$$6. \quad 1,2D + E_v + E_{mh} + L \quad (2.8)$$

$$7. \quad 0,9D - E_v + E_{mh} \quad (2.9)$$

2.6.2 Kuat Rencana

Kuat desain suatu komponen struktur, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebagai hasil kali kuat normal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dari SNI 2847:2019, dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ). Setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai pada kekuatan desain disemua penampang harus memenuhi:

$$\phi S_n \geq U \quad (2.10)$$

Dimana:

ϕ = Faktor reduksi

S_n = Kekuatan nominal lentur, geser, aksial, torsi, atau tumpu sambungan

U = Kekuatan perlu

Tabel 2.7 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya atau elemen struktur		(ϕ)	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (pretension) dimana strand belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (bearing)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (post-tension)	0,85	-

Tabel 2.7 (Lanjutan) Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

	Gaya atau elemen struktur	(ϕ)	Pengecualian
f)	Bracket dan korbrel	0,75	-
g)	Strut, ties, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan strutand-tie di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,6	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 0,75	- -

(Sumber: SNI 2847-2019)

2.7 Perencanaan Terhadap Beban Angin

Perencanaan struktur terhadap beban angin direncanakan berdasarkan SNI 1727:2020. Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian tersedia di Pasal 2.4.3 tentang beban angin.

2.7.1 Penentuan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Bangunan dan struktur lainnya harus diklasifikasikan, berdasarkan risiko bagi kehidupan manusia, kesehatan, dan kesejahteraan yang terkait dengan kerusakan atau kegagalan mereka dengan sifat hunian atau penggunaan, menurut Tabel 2.8 untuk tujuan penerapan ketentuan banjir, angin, salju, gempa, dan es. Setiap bangunan atau struktur lainnya harus ditetapkan untuk kategori risiko yang berlaku lebih tinggi atau kategori-kategori lebih tinggi.

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa dan Es

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
• Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III

Tabel 2.8 (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa dan Es

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
- Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. - Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. - Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis^a.	III
- Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. - Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. - Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis^a. - Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	IV

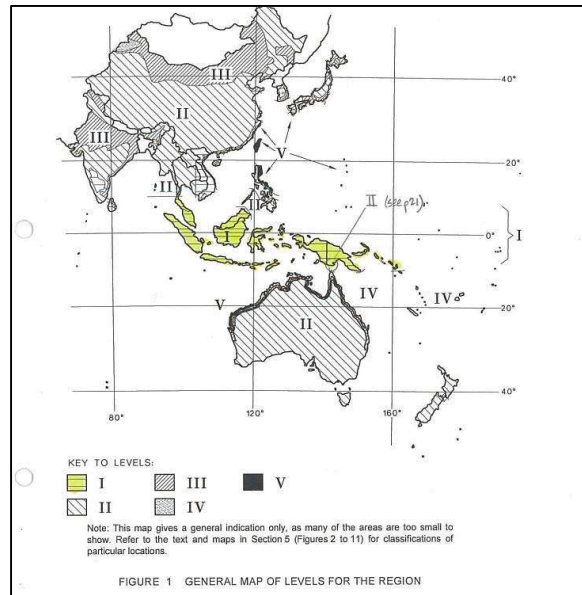
(Sumber: SNI 1727:2020)

Catatan: ^(a) Bangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap kategori risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya seperti dijelaskan dalam Pasal 1.5.3 bahwa pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan kategori risiko.

2.7.2 Kecepatan Angin Dasar (V)

Sebagai acuan normatif, kita dapat mengambil nilai kecepatan angin dasar, V (m/s), berdasarkan standar Australia, HB 212-2022 – *Design Wind Speeds for the*

Asia-Pacific Region. Standar ini merupakan publikasi yang dikeluarkan oleh *Australian Standard* untuk nilai kecepatan angin pada area Asia Pasifik. Menurut HB 212-2002, wilayah Indonesia sebagai daerah garis ekuator masuk kedalam level I, yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Kategori Kecepatan Angin Asia Pasifik

(Sumber: ryanrakhmats.wordpress.com)

Untuk nilai *wind speed level I* dan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$V_R = 70 - 56R^{-0,1} \quad (2.11)$$

Dari persamaan diatas dapat kita lihat bahwa nilai *wind speed* adalah 32.1 m/s untuk periode 50 tahunan dan 39.9 m/s untuk periode 500 tahunan. Perlu di catat di sini bahwa desain beban angin untuk *Australian Code* dan ASCE cukup berbeda, dan nilai 500 tahunan untuk desain ultimit (LRFD) di *Australian Code* berbeda dengan ASCE yang nilai periode ulangnya berdasarkan *risk category*. Untuk nilai periode ulang berdasarkan *risk category*, dapat menggunakan persamaan (2.11) diatas, sehingga didapat nilai-nilainya yaitu:

Tabel 2.9 Wind Speed Untuk Kategori Risiko Bangunan

<i>Risk Category</i>	<i>Periode Ulang</i>	<i>Wind Speed</i>
I	300	38,3
II	700	40,9
III	1700	43,4
IV	1700	43,4

(Sumber: ryanrakhmats.wordpress.com)

2.7.3 Faktor Arah Angin (K_d)

Dalam SNI 1727:2020, faktor arah angin, K_d harus ditentukan dari Tabel 2.10 berikut:

Tabel 2.10 Faktor Arah Angin, K_d

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	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

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

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.7.4 Kategori Eksposur

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

Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.

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

Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

2.7.5 Faktor Topografi (K_z)

Efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam terisolasi yang secara umum menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, dalam setiap kategori eksposur, harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin apabila keadaan dan lokasi situs bangunan gedung dan struktur lainnya memenuhi semua kondisi berikut:

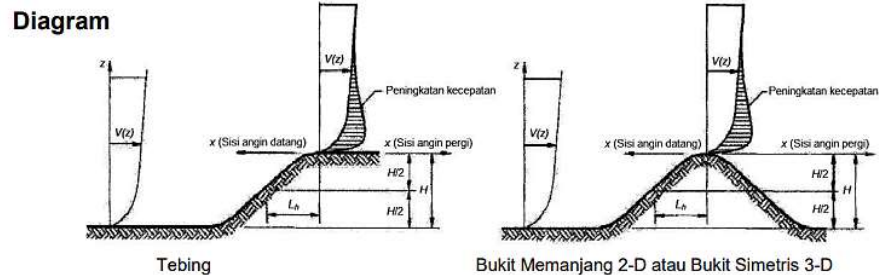
1. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam terisolasi dan tidak terhalang oleh topografi serupa dalam arah melawan angin dengan ketinggian yang setara untuk jarak 100 kali tinggi fitur topografi ($100H$) atau 2 mil (3,22 km), dipilih yang terkecil. Jarak ini harus diukur horizontal terhadap titik di mana tinggi H dari bukit, punggung bukit, atau tebing yang ditentukan.
2. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam menonjol ke atas dengan faktor dua kali atau lebih terhadap ketinggian fitur dataran pada arah melawan angin dalam radius 2-mil (3,22 km) untuk setiap kuadran.

3. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam menonjol ke atas dengan faktor dua kali atau lebih terhadap ketinggian fitur dataran pada arah melawan angin dalam radius 2-mil (3,22 km) untuk setiap kuadran.
4. $H/L_h \geq 0,2$
5. H adalah lebih besar dari atau sama dengan 15 ft (4,5 m) untuk Eksposur C dan D dan 60 ft (18 m) untuk Eksposur B.

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

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.12)$$

Dengan K_1, K_2 , dan K_3 diperoleh dari dalam Gambar 2.2. Jika kondisi situs dan lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan diatas, maka $K_{zt} = 1,0$



Pengali topografi untuk eksposur $C^{a,b,c}$

H/L_h	Pengali K_1			x/L_h	Pengali K_2			x/L_h	Pengali K_3		
	Bukit 2-D	Tebing 2-D	Bukit 3-D		Tebing 2-D	Seluruh kasus lainnya	Bukit 2-D		Tebing 2-D	Bukit 3-D	
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67	
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45	
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30	
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20	
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14	
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09	
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06	
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04	
							0,90	0,07	0,11	0,03	
							1,00	0,05	0,08	0,02	
							1,50	0,01	0,02	0,00	
							2,00	0,00	0,00	0,00	

^aUntuk nilai-nilai H/L_h , x/L_h dan z/L_h selain dari yang diperlihatkan, diperkenankan interpolasi linear.

^bUntuk $H/L_h > 0,5$, asumsikan $H/L_h = 0,5$ untuk menghitung K_1 dan gantikan L_h dengan $2H$ untuk menghitung K_2 dan K_3 .

^cPengali didasarkan pada asumsi bahwa angin menuju bukit atau tebing sepanjang arah kelayakan maksimum.

Notasi:

H : Tinggi bukit atau tebing relatif terhadap elevasi kawasan di sisi angin datang (*upwind*), dalam feet (meter).

K_1 : faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum.

Gambar 2.2 Faktor Topografi, K_{zt}

K_2 : faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak.
 K_3 : faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian di atas elevasi kawasan setempat.
 L_h : jarak horizontal pada sisi angin datang (*upwind*), dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi bukit atau tebing, dalam feet (meter)
 x : jarak (di sisi angin datang atau sisi angin pergi) dari puncak ke lokasi gedung atau struktur lain, dalam feet (meter).
 z : ketinggian di atas permukaan tanah pada lokasi bangunan gedung atau struktur lain, dalam feet (meter).
 μ : faktor atenuasi horizontal.
 γ : faktor atenuasi ketinggian.

Persamaan:
 $K_z = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$

K_1 ditentukan dari tabel di bawah ini

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$$

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing

Bentuk bukit	$K_1/(H/L_h)$			γ	μ	
	B	Eksposur C	D		Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K_1/(H/L_h)$)	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

Gambar 2.2 (Lanjutan) Faktor Topografi, K_z
 (Sumber: SNI 1727:2020)

2.7.6 Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara, K_e , harus ditentukan sesuai dengan Tabel 2.11. Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai $K_e = 1$

Tabel 2.11 Faktor Elevasi Permukaan Tanah, K_e

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

(Sumber: SNI 1727:2020)

CATATAN

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

2. Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:
 $K_e = e^{-0,0000362z_g}$ (z_g = elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft)
 $K_e = e^{-0,000119z_g}$ (z_g = elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m)
3. Dalam semua kasus K_e boleh diambil sebesar 1,00.

2.7.7 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan (K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan, koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_z atau K_h , sebagaimana berlaku, harus ditentukan dari Tabel 2.12. Untuk lokasi yang berada di zona transisi antara kategori-kategori eksposur yang mendekati perubahan kekasaran permukaan tanah, boleh diambil nilai menengah dari K_z atau K_h yang ada dalam Tabel 2.12, asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang didefinisikan dalam literatur yang diakui.

Tabel 2.12 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur		
Ft	m	B	C	D
0 – 15	0 – 4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

^aGunakan 0,70 pada pasal 28, Eksposur B, apabila $z < 30$ ft (9,1 m)

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.7.8 Faktor Efek Hembusan Angin

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

2.7.9 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel 2.13 berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung ditentukan.

Tabel 2.13 SPGAU dan K&K (Semua Ketinggian): 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 4 ft ² (0,37 m ²) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1 A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari 0,01 A_g atau 4 ft ² (0,37 m ²) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	-0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

(Sumber: SNI 1727:2020)

CATATAN

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

2.7.10 Tekanan Kecepatan (q_z atau q_h)

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

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ dalam m/s} \quad (2.13)$$

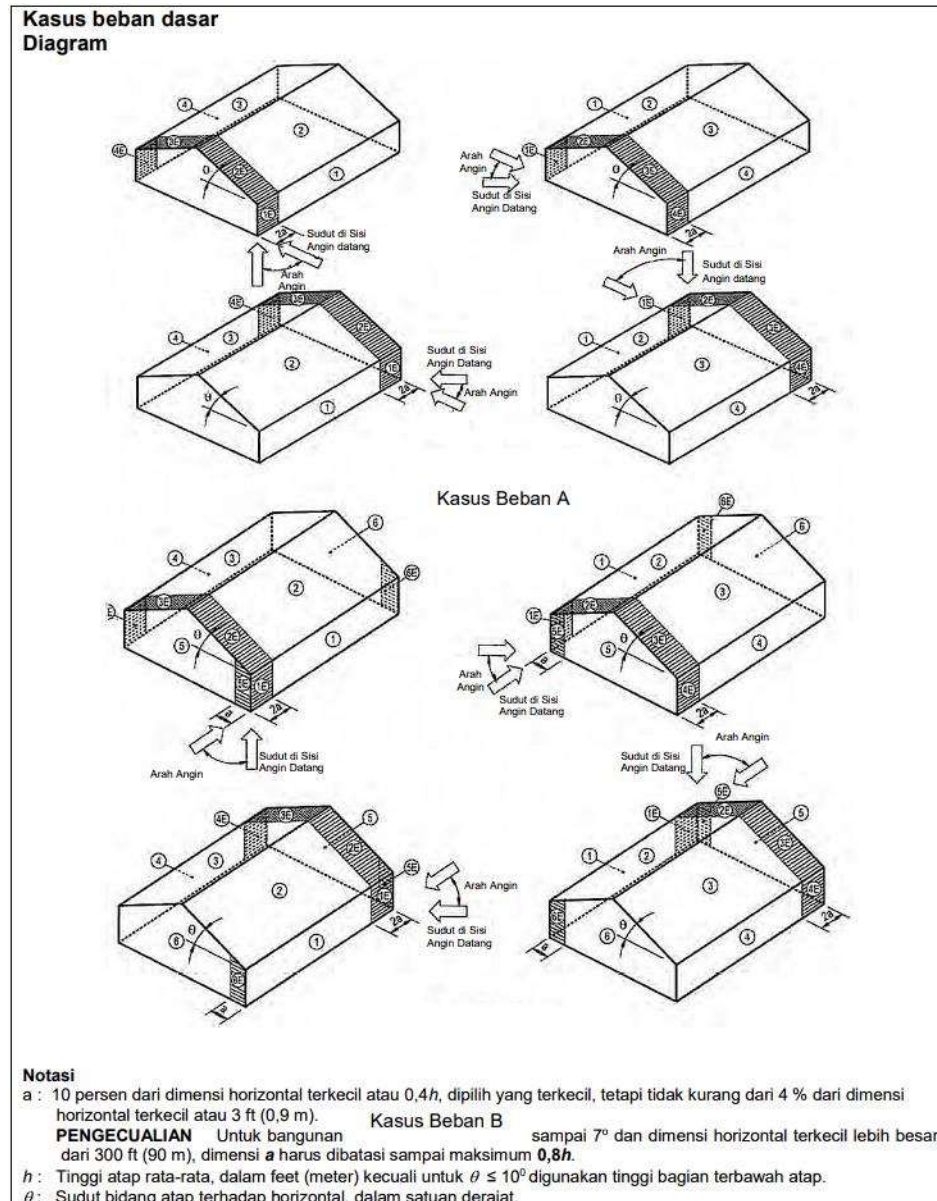
2.7.11 Koefisien Tekanan Eksternal (GC_{pf})

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

2.7.12 Tekanan Angin Desain untuk Bangunan Gedung Bertingkat Rendah

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

$$p = q_h [(GC_{pf}) - (GC_{pi})] \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.14)$$



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

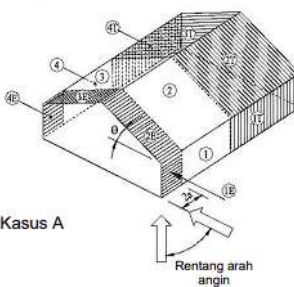
KASUS BEBAN A												
Sudut atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung											
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E				
0-5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	0,61	-1,07	-0,53	-0,43				
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43	0,80	-1,07	-0,69	-0,64				
30-45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	0,69	0,27	-0,53	-0,48				
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	0,69	0,69	-0,48	-0,48				

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

Catatan:

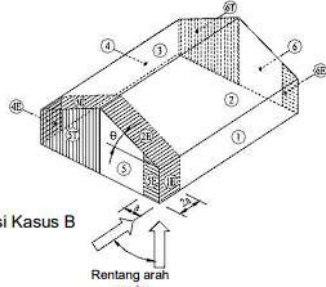
1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
2. Untuk nilai-nilai θ selain yang diperlihatkan, diperkenankan menggunakan interpolasi linier.
3. Bangunan gedung harus didesain untuk semua arah angin dengan menggunakan 8 pola pembebanan yang diperlihatkan. Pola pembebanan tersebut diterapkan pada setiap sudut bangunan gedung sebagai Sudut Acuan.
4. Kombinasi tekanan eksternal dan internal (lihat Tabel 26.11-1) harus dievaluasi ketika diperlukan untuk memperoleh beban yang memberi dampak paling parah.
5. Untuk kasus beban torsional yang diperlihatkan di bawah ini, tekanan pada zona-zona ditandai dengan "T" (1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T) harus 25 % dari tekanan penuh angin desain (zona 1, 2, 3, 4, 5, 6).
PENGECUALIAN: Bangunan gedung satu tingkat dengan h kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), bangunan gedung dua tingkat atau kurang terdiri dari konstruksi rangka ringan, dan bangunan gedung dua tingkat atau kurang didesain dengan diafragma fleksibel tidak perlu didesain untuk kasus beban torsional.
 Beban torsi harus diterapkan untuk semua delapan pola beban dasar dengan menggunakan gambar di bawah ini yang diterapkan pada setiap Sudut Acuan (Sudut Di Sisi Angin Datang).
6. Untuk tujuan desain bangunan gedung SPGAU, gaya geser horizontal total tidak boleh kurang dari yang ditentukan dengan mengabaikan beban angin pada atap.
PENGECUALIAN: Ketentuan ini tidak berlaku untuk bangunan gedung yang menggunakan rangka momen untuk SPGAU.
7. Untuk atap datar, gunakan $\theta = 0^\circ$ dan lokasi elemen pembatas zona 2/3 dan zona 2E/3E pada tengah-lebar dari bangunan gedung.
8. Koefisien tekanan atap (GC_{pf}), bila negatif pada Zona 2 dan 2E, harus diterapkan pada Zona 2/2E untuk jarak dari tepi atap sama dengan 0,5 kali dimensi horizontal bangunan gedung paralel terhadap arah SPGAU yang sedang didesain atau 2,5 kali tinggi bagian terbawah atap pada dinding di sisi angin datang, pilih yang terkecil; sisanya dari Zona 2/2E sampai ke garis bubungan harus menggunakan koefisien (GC_{pf}) untuk Zona 3/3E.

Kasus beban torsional



Torsi Kasus A

Arah Transversal



Torsi Kasus B

Arah Longitudinal

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

(Sumber: SNI 1727:2020)

2.8 Perencanaan Ketahanan Gempa

Gempa rencana yang disyaratkan oleh peraturan, bekerja pada ke dua arah sumbu utama struktur bangunan yang saling tegak lurus secara simultan. Besarnya

beban gempa pada struktur dapat diperhitungkan dengan menjumlahkan 100% beban gempa pada satu arah dengan 30% beban gempa pada arah tegak lurus nya. Analisis struktur terhadap beban gempa pada gedung dilakukan dengan metode analisis respons spektrum. Berikut ini langkah-langkah analisis gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

2.8.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2 dikatakan untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.14 Pengaruh gempa harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai Tabel 2.15. 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 2.14 Kategori Risiko Bangunan 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: - 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: - 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: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion	III

**Tabel 2.14 (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung
untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- 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: - 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
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.15 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.8.2 Klasifikasi Situs Tanah

Klasifikasi suatu situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Profil tanah di situs diklasifikasi sesuai dengan Tabel 2.16 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan.

Tabel 2.16 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 atau 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastis, $PI > 20$ 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)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Tabel 2.16 (Lanjutan) Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
	3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

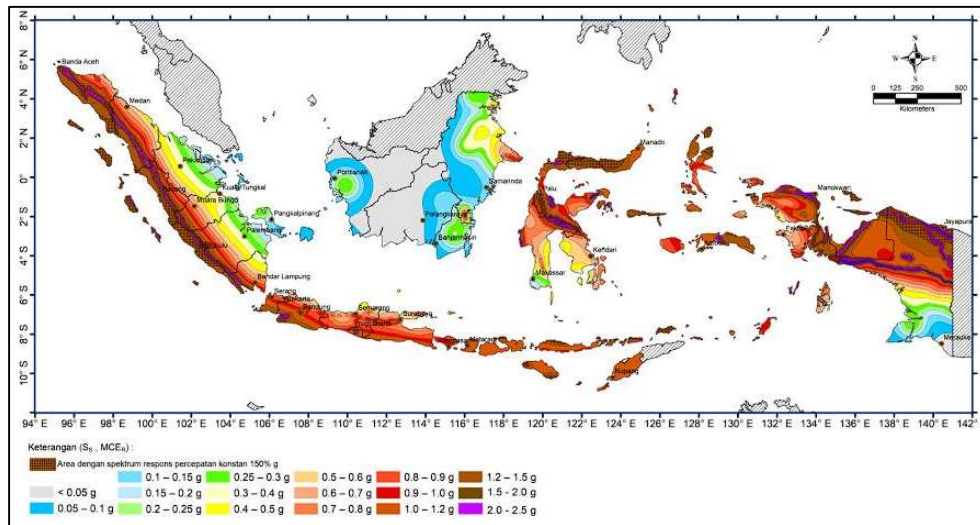
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019)

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

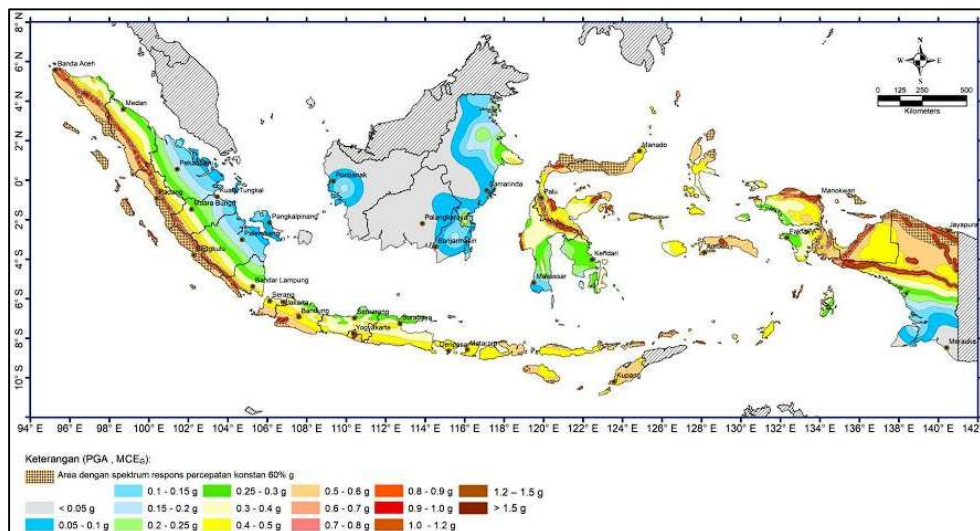
2.8.3 Wilayah Gempa di Indonesia

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



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

(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.5 Parameter Gerak Tanah S_l , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2-Detik (Redaman Kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726:2019)

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

Dalam 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:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.15)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.16)$$

Dimana:

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

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

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.17 dan Tabel 2.18.

Tabel 2.17 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726:2019)

CATATAN:

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

Tabel 2.18 Koefisien Situs, F_v

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)					

(Sumber: SNI 1726:2019)

CATATAN:

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

2.8.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.17)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.18)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter spektral desain untuk periode pendek.

S_{D1} = Parameter spektral desain untuk periode 1,0 detik.

2.8.6 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 2.6 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:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.19)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.20)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (2.21)$$

Keterangan:

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

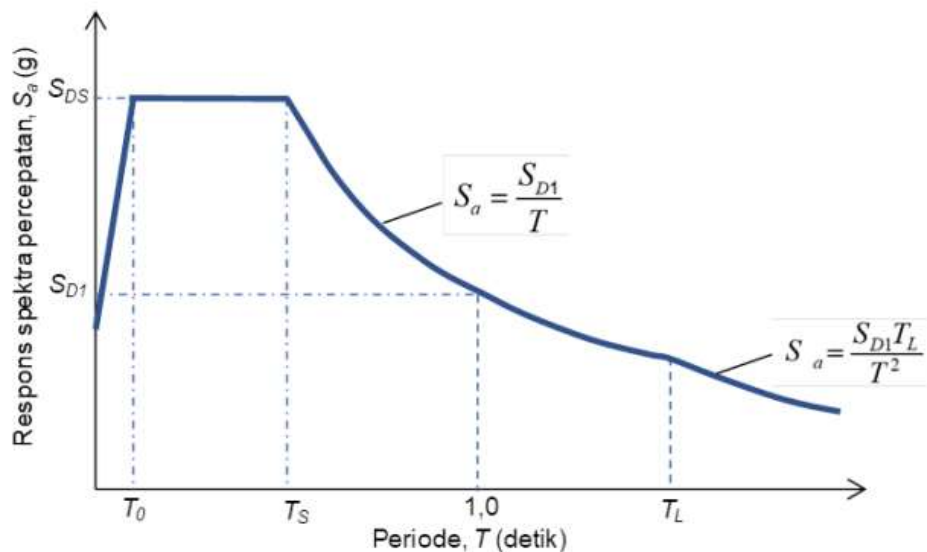
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.22)$$

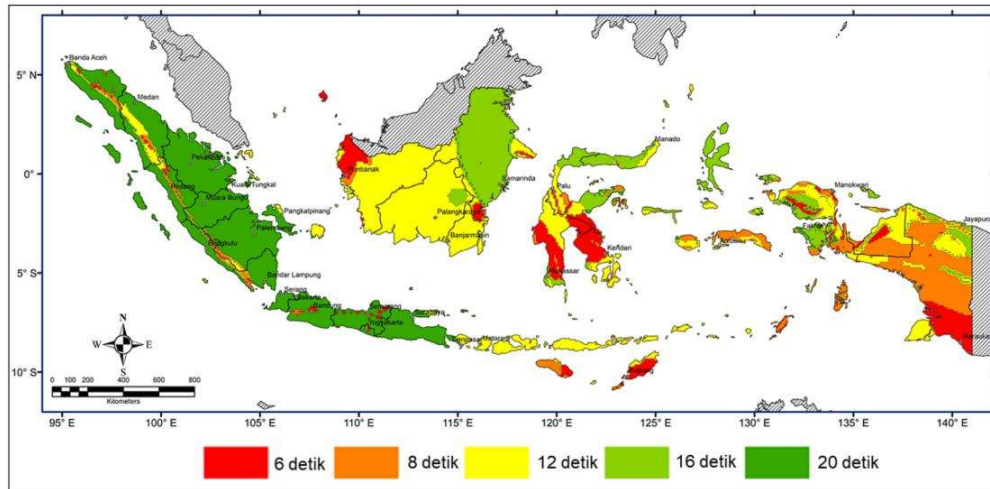
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.23)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 yang nilainya diambil dari Gambar 2.7



Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.7 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.8.7 Kategori Desain Seismik

Semua struktur bangunan 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 2.19 dan Tabel 2.20, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

**Tabel 2.20 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

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.8.8 Pemilihan Sistem Struktur

Didalam SNI 1726:2019 sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.21. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur, h_n , yang ditunjukkan pada Tabel 2.21. Koefisien modifikasi respons, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.21 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Tabel 2.21 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12'	12'	12'
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20

Tabel 2.21 (Lanjutan) Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3½	TB	TB	10 ^g	10 ^g	TI ^h
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Tabel 2.21 (Lanjutan) Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI'	TI'	TI'
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019)

Keterangan:

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diijinkan

R = Koefisien modifikasi respons

C_d = Faktor amplifikasi defleksi

Ω_0 = Koefisien kuat lebih sistem

a = Koefisien modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan standar.

b = Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih, Ω_0 , lebih besar atau sama dengan 2,5 maka Ω_0 diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

c = Faktor pembesaran simpangan lateral, C_d

2.8.9 Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan

Berdasarkan SNI 1726:2019 dimana struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam Pasal 7.3.2.

a. Ketidakberaturan horizontal

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 2.22 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.22 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.22 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, 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.	7.3.3.4 7.7.3 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
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.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D

Tabel 2.22 (Lanjutan) Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
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.	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 terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 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.	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 F

(Sumber: SNI 1726:2019)

b. Ketidakberaturan vertikal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 2.23 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 2.23 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.23 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 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

Tabel 2.23 (Lanjutan) Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
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.	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. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 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.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.8.10 Faktor Redundansi

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

Faktor redundansi untuk kategori desain seismik D sampai F dimana untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kondisi desain seismik D, E, atau F, faktor redundansi (ρ) harus sebesar 1,3 kecuali jika salah satu dari kedua kondisi berikut dipenuhi, dimana faktor redundansi (ρ) diizinkan diambil sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 2.24.
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah

ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 2.24 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35% Gaya Geser Dasar

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.8.11 Menentukan Gaya Geser Dasar Seismik

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

$$V = C_s W \quad (2.24)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

- a. Perhitungan koefisien respons seismik

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.25)$$

Keterangan:

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

R = Koefisien modifikasi respons.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (2.25) tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.26)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.27)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.28)$$

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

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.29)$$

Keterangan:

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

T = Periode fundamental struktur (detik).

S_I = Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

2.8.12 Penentuan Periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.25 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai persamaan (2.30). Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai persamaan (2.30).

Tabel 2.25 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

a. Periode fundamental pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.30)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.26.

Tabel 2.26 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

Tabel 2.26 (Lanjutan) Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
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

(Sumber: SNI 1726:2019)

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

$$T_a = 0,1N \quad (2.31)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_a , diizinkan menggunakan persamaan (2.32) sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.32)$$

dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari persamaan (2.33) sebagai berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \quad (2.33)$$

Keterangan:

A_B = Luas dasar struktur (m^2).

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

D_i = Panjang dinding geser ke- i (m).

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

2.8.13 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

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

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.34)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.35)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal.

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

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

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

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

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

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

Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.8.14 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.36)$$

Keterangan:

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

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

2.8.15 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel

2.22 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam Gambar 2.8 dan ditentukan dari persamaan berikut:

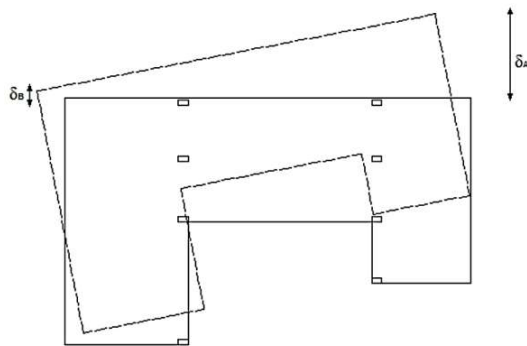
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (2.37)$$

Keterangan:

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

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

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



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

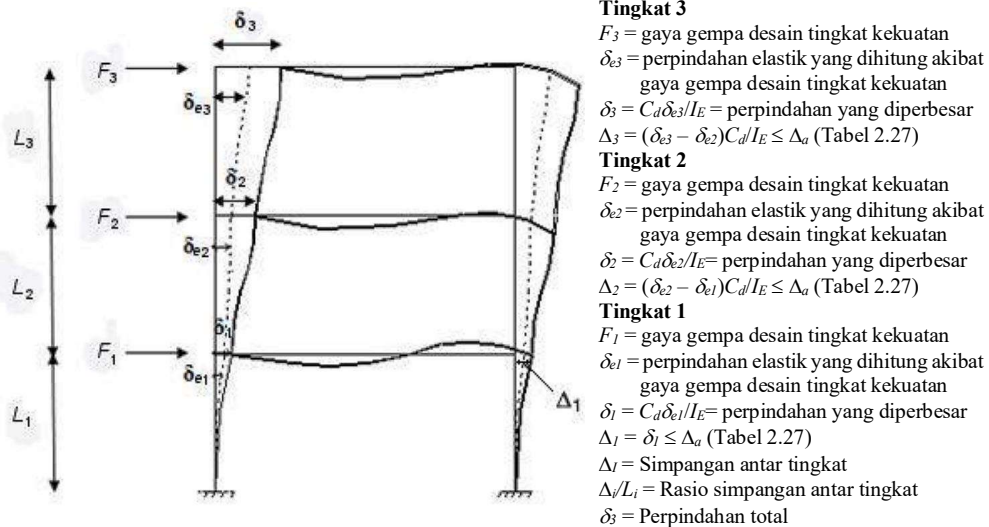
Gambar 2.8 Faktor Pembesaran Torsi, A_x

(Sumber: SNI 1726:2022)

2.8.16 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

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

dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 2.8.11 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.9 Penentuan Simpangan Antar Lantai

(Sumber: SNI 1726:2022)

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 2.22, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.38)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 2.21.

δ_{xe} = Simpangan di tingkat- x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.15.

2.8.17 Batas Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2.27 untuk semua tingkat.

Tabel 2.27 Simpangan Antar Tingkat Izin, $\Delta_a^{a,b}$

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

CATATAN:

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

^(c) Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.

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

2.8.18 Pengaruh P-delta

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

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.39)$$

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, terjadi secara serentak dengan V_x (mm).

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.15.

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 simpangan lateral dalam Tabel 2.21.

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

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.40)$$

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_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$.

Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, persamaan (2.40) tetap harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang dihitung dari persamaan (2.39) menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan persamaan (2.40).

2.8.19 Analisis Linear Dinamik Dengan Spektrum Respons Ragam

Dalam SNI 1726:2019 pasal 7.9 dimana analisis dinamik dengan respon ragam sebagai berikut:

a. Jumlah ragam

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

b. Parameter respons ragam

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

c. Parameter respons terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726:2019. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam yang berdekatan mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.

d. Skala nilai desain untuk respons terkombinasi

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur 2.8.11.

1. Penskalaan gaya

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_i) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_i , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 2.8.11, dan V_i adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

2. Penskalaan simpangan

Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_i) kurang dari $C_s W$, dan dimana C_s ditentukan berdasarkan persamaan (2.29), maka simpangan harus dikalikan dengan $C_s W/V_i$.

e. Distribusi geser horizontal

Distribusi geser horizontal harus sesuai dengan persyaratan 2.8.14, kecuali bahwa pembesaran torsi menurut 2.8.15, tidak disyaratkan bila pengaruh torsi tak terduga disertakan dalam model analisis dinamik.

f. Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta harus ditentukan sesuai dengan 2.8.18. Geser dasar yang digunakan untuk menentukan geser tingkat dan simpangan antar tingkat harus ditentukan sesuai dengan 2.8.16.

g. Reduksi interaksi tanah struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diizinkan bila ditentukan menggunakan SNI 1726:2019 Pasal 13 atau prosedur lainnya yang diterima secara umum yang disetujui oleh pihak berwenang.

h. Pemodelan struktur

Model matematis dari struktur harus dibuat sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.7.3, kecuali semua struktur yang didesain sesuai dengan pasal ini harus dianalisis secara 3 dimensi. Bila diafragma tidak dikategorikan sebagai diafragma kaku sesuai persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1, maka model yang dibangun harus merepresentasikan karakteristik kekakuan diafragma dan derajat kebebasan dinamik tambahan yang diperlukan agar dapat mewakili partisipasi diafragma dalam respons dinamik struktur.

2.9 Perencanaan Komponen Struktur Atas Beton Bertulang

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur atas ini terdiri atas kolom, pelat, balok, yang masing-masing mempunyai peran yang sangat penting. Elemen struktur tersebut harus direncanakan dengan sebaik mungkin untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur. Sebelum dilakukan analisis terhadap suatu struktur yang akan digunakan, tahap awal yang dilakukan adalah perencanaan terhadap dimensi penampang pelat, balok dan kolom yang dikenal dengan *preliminary design* berdasarkan SNI 2847:2019.

2.9.1 Balok

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal, sedangkan portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung (Asroni, 2010). Umumnya beban yang bekerja pada balok berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir), sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (yang menahan beban geser dan torsi).

1. Jenis-Jenis Keruntuhan Balok

Keruntuhan lentur yang dapat terjadi pada suatu balok dapat dibedakan dalam tiga kelompok, yaitu:

a. Keruntuhan tarik (*under-reinforced*)

Keruntuhan jenis ini pada tulangan baja tarik terlebih dahulu mencapai regangan lelehnya sebelum beton hancur, atau telah mencapai regangan maksimum sebesar 0,003. Keruntuhan jenis ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan yang kecil.

b. Keruntuhan tekan (*over-reinforced*)

Pada keruntuhan jenis ini beton mengalami kehancuran sebelum tulangan baja tarik mengalami leleh. Hal ini terjadi karena rasio tulangan pada penampang yang cukup besar, sehingga tulangan baja sangat kuat menahan tarik sehingga beton tekan akan mengalami kerusakan terlebih dahulu.

c. Keruntuhan seimbang (*balanced*)

Pada keruntuhan jenis ini tulangan baja dan beton mengalami kehancuran secara bersamaan. Pada kondisi ini regangan leleh tulangan tarik yang dipasang terjadi bersamaan dengan regangan ultimit beton di serat tekan. Untuk kondisi ini tidak pernah terjadi, karena kenyataan di lapangan banyak hal yang menyebabkan terjadinya perubahan terhadap kondisi yang direncanakan.

Dari ketiga jenis keruntuhan diatas jenis keruntuhan yang direkomendasikan dalam perencanaan adalah jenis keruntuhan tarik (*under-reinforced*) karena pada keruntuhan ini diawali dengan meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung secara perlahan dan bertahap sehingga sempat memberikan tanda-tanda keruntuhan, sehingga resiko akibat keruntuhannya dapat diperkecil, sedangkan keruntuhan tekan (*over-reinforced*) yang diawali dengan hancurnya beton tekan terjadi secara mendadak tanpa sempat memberikan tanda-tanda keruntuhan, sehingga resiko akibat keruntuhan ini tidak dapat diperkecil.

2. Dasar Perhitungan Kekuatan Luntur Ultimit Balok

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

- 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 α dari serat tekan terjauh, seperti persamaan berikut:
$$\alpha = \beta_1 c \quad (2.41)$$
- Jarak dari serat tekan terjauh sampai ke sumbu netral c , diukur secara tegak lurus dari sumbu netral.
- Nilai β_1 dinyatakan dalam Tabel 2.28 berikut.

Tabel 2.28 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

(Sumber: SNI 2847:2019)

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen kekuatan lentur, M_n , dapat ditentukan sebagai berikut:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2.42)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.43)$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.44)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.45)$$

Substitusi Persamaan (2.44) ke Persamaan (2.45) menghasilkan:

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0,59 \frac{A_s \cdot f_y}{f'_c \cdot b} \right) \quad (2.46)$$

3. Batas Desain

Dalam SNI 2847:2019 pasal 9.3 batas desain untuk balok harus sesuai dengan:

a. Tinggi balok minimum

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 2.29 berikut:

Tabel 2.29 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

(Sumber: SNI 2847:2019)

b. Batas regangan tulangan pada balok nonprategang

Dalam SNI 2847:2019 pasal 9.3.3.1 untuk balok nonprategang dihitung dengan:

$$P_u < 0,10 f'_c \cdot A_g \quad (2.47)$$

Dimana ε_t regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, sekurang-kurangnya 0,004.

4. Kekuatan Rencana

Dalam SNI 2847:2019 pasal 9.5 kekuatan rencana untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

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

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

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

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

Nilai reduksi, ϕ , ditentukan sesuai dengan Tabel 2.7 diatas.

5. Batasan Tulangan

Dalam SNI 2847:2019 pasal 9.6 batasan tulangan untuk balok harus sesuai dengan:

a. Tulangan Lentur Minimum

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

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

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

b. Tulangan geser minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 luas minimum tulangan geser $A_{v,min}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5\phi V_c$ kecuali untuk kasus pada Tabel 2.30. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v,min}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Tabel 2.30 Kasus Dimana $A_{v,min}$ Tidak Diperlukan Jika $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

Jika diperlukan tulangan geser dan pengaruh torsional dapat diabaikan $A_{v,min}$, harus sesuai dengan Tabel 2.31, berikut:

Tabel 2.31 Kebutuhan $A_{v,min}$

Jenis balok	$A_{v,min}/s$	
Nonprategang dan prategang dengan $A_{ps}f_{se} < 0,4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$	Terbesar dari:	$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$
		$0,35 \frac{b_w}{f_{yt}}$
Nonprategang dan prategang dengan $A_{ps}f_{se} < 0,4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$	Terkecil dari:	$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$
		$0,35 \frac{b_w}{f_{yt}}$
		$\frac{A_{ps}f_{pu}}{80f_{yt}d} \sqrt{\frac{d}{b_w}}$

(Sumber: SNI 2847:2019)

c. Tulangan torsi minimum

Luas tulangan torsi minimum harus disediakan di seluruh daerah dimana $T_u \geq T_{th}$. Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan transversal minimum $(A_v + 2A_t)_{min}/s$ harus lebih besar dari Pers. (2.54) atau Pers. (2.55):

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

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

Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan longitudinal minimum $A_{t,min}$ harus lebih kecil dari Pers. (2.56) dan Pers. (2.57):

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

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

2.9.2 Kolom

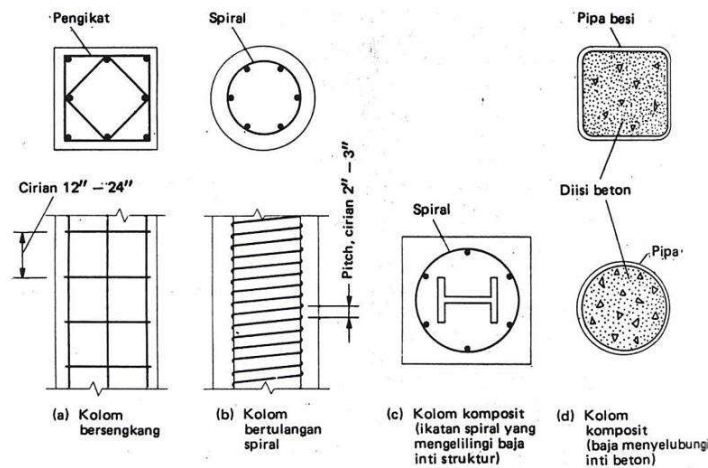
Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (frame) struktur yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Nawy, 1998).

1. Jenis-Jenis Kolom

Menurut (Wang & Salmon, 1986) ada beberapa jenis kolom yaitu:

- a. Kolom dengan sengkang ikat (*Tied Colomn*), dimana kolom ini umumnya berbentuk bujur sangkar atau lingkaran, dengan kedudukan tulangan utama memanjang dipegang oleh tulangan pengikat lateral terpisah.
- b. Kolom dengan sengkang spiral (*Spiral Colomn*), dimana jenis kolom ini umumnya berbentuk bujur sangkar atau lingkaran dengan tulangan memanjang disusun membentuk lingkaran dan diikat oleh spiral yang ditempatkan secara menerus disepanjang kolom.
- c. Kolom komposit (*Composite Colomn*) yang merupakan jenis kolom yang memakai profil baja struktur, pipa, atau tube, dengan atau tanpa penulangan memanjang tambahan. Salah satu susunan kolom komposit yang biasa mempunyai profil baja struktur yang sepenuhnya diliputi oleh beton dan diperkuat dengan penulangan memanjang dan melintang (spiral atau pengikat).

Selanjutnya jenis-jenis kolom tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Jenis-Jenis Kolom

(Sumber: Wang & Salmon, 1986)

Nawi (1998) telah memberikan klasifikasi kolom berdasarkan hal-hal berikut ini:

- a. Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan:
 - 1) Kolom Segiempat atau Bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.

- 2) Kolom Bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
- 3) Kolom Komposit yang terdiri atas beton dan profil baja struktural di dalamnya. Profil baja ini biasanya diletakkan di dalam selubung tulangan.

Jenis kolom ini juga dapat dilihat pada Gambar 2.10 diatas.

- b. Berdasarkan posisi beban yang bekerja pada penampang melintang:
 - 1) Kolom yang mengalami beban sentris, yang berarti kolom tidak mengalami momen lentur.
 - 2) Kolom dengan beban eksentris, dimana kolom selain mengalami beban aksial juga bekerja momen lentur. Momen lentur yang terjadi dapat bersumbu tunggal (uniaksial) dan bersumbu rangkap (biaksial). Kolom dianggap bersumbu rangkap (biaksial) apabila lentur pada kolom terjadi baik pada sumbu-x maupun pada sumbu-y.
- c. Berdasarkan panjang kolom :
 - 1) Kolom pendek (*short column*), yaitu kolom yang mengalami keruntuhan karena kegagalan material (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton).
 - 2) Kolom panjang, yaitu kolom yang mengalami keruntuhan karena tekuk (*buckling*).

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

- a) untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

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

- b) untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping:

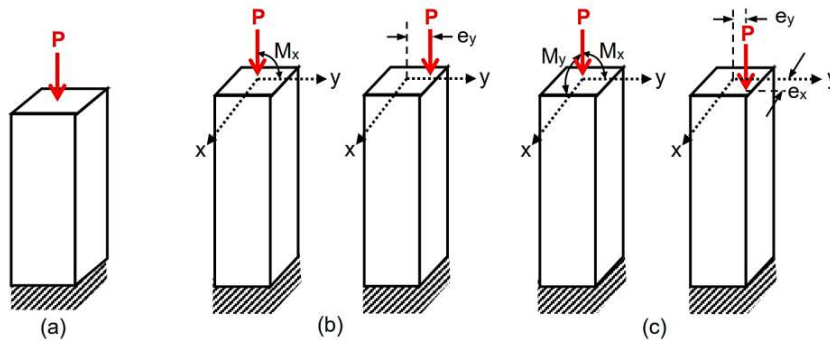
$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12(M_1/M_2) \quad (2.59)$$

Dan

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

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

Jenis kolom ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Jenis Kolom Berdasarkan Posisi Beban Pada Penampang Melintang: (a) Kolom dengan Beban Sentris; (b) Beban Aksial Ditambah Momen Satu Sumbu (Uniaksial); (c) Beban Aksial Ditambah Momen Dua Sumbu (Biaksial)

(Sumber: Nawy, 1998)

2. Keruntuhan Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, maka penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu (Nawy, 1998) :

- Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan tarik.
- Keruntuhan tekan, yang diawali dengan runtuhnya beton yang tertekan.

Kondisi keseimbangan (*balanced*) terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus hancurnya beton yang tertekan.

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi keseimbangan (*balanced*), maka:

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

3. Kekuatan Aksial atau Kombinasi Kekuatan Lentur dan Aksial

SNI 2847:2019 pasal 22.4 memberikan ketentuan kekuatan tekan aksial nominal P_n tidak boleh melebihi $P_{n,max}$ sesuai Tabel 2.32, dimana nilai P_o dihitung menggunakan Pers. (2.61) untuk komponen nonprategang dan komponen komposit.

Tabel 2.32 Kekuatan Aksial Maksimum

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

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

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

Dimana:

A_{st} = Luas total tulangan longitudinal nonprategang

A_g = Luas penampang kolom

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

f_y = Kuat tarik tulangan baja yang di ijinakan (MPa)

Namun kekuatan yang dihitung dengan persamaan di atas normalnya jarang sekali bisa diperoleh karena pada suatu kolom selalu ada momen pada kolom yang akan mereduksi kapasitas aksial kolom. Momen tersebut bisa saja terjadi akibat:

- Tidak konsentrisnya as kolom dari satu lantai terhadap lantai berikutnya.
- Mengimbangi momen pada balok.
- Penulangan yang tidak sentris yang mengakibatkan tidak berhimpitnya titik berat geometrinya dengan titik berat penampang.

Untuk memperhitungkan efek dari momen yang tidak diharapkan tersebut, maka kapasitas aksial kolom perlu direduksi untuk elemen struktur tekan sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 21.2.2, yaitu:

ϕ = 0,75 untuk kolom dengan tulangan spiral,

ϕ = 0,65 untuk kolom dengan tulangan sengkang pengikat.

4. Kekuatan Desain

Dalam SNI 2847:2019 pasal 9.5 kekuatan rencana untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.62)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.63)$$

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.64)$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad (2.65)$$

Nilai reduksi, ϕ , ditentukan sesuai dengan Tabel 2.7 diatas.

5. Batasan Tulangan

Dalam SNI 2847:2019 pasal 10.6 batasan tulangan untuk kolom harus sesuai dengan:

a. Tulangan Longitudinal

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

b. Tulangan Geser Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.1, luas minimum tulangan geser, $A_{v,min}$, harus disediakan di semua wilayah dimana $V_u > 0,5 \phi V_c$. Bila tulangan geser diperlukan, $A_{v,min}$ harus lebih besar dari:

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

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

Jarak spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 2.33 berikut:

Tabel 2.33 Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

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

Tabel 2.33 (Lanjutan) Persyaratan Maksimum Tulangan Geser

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

6. Asumsi Dalam Perencanaan Kolom

Asumsi yang berlaku dalam perencanaan komponen struktur ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22, yaitu sebagai berikut:

- Kompatibilitas regangan dan kesetimbangan kekuatan lentur dan aksial komponen yang dihitung dengan standar tertentu harus memenuhi persyaratan yaitu, kesetimbangan dan kompatibilitas regangan.
- Regangan beton dan tulangan nonprategang diasumsikan proporsional dengan jarak dari sumbu netral.
- Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003.
- Kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan kekuatan lentur dan kuat aksial.
- Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dinyatakan dengan bentuk persegi, trapesium, parabolik atau bentuk lain yang memprediksikan kekuatan yang sesuai dengan hasil tes.
- Distribusi tegangan persegi beton ekuivalen harus sesuai dengan:
 - Tegangan beton $0,85 f'_c$ 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:
$$a = \beta_{1c} \quad (2.68)$$
 - Jarak dari serat tekan terjauh sampai ke sumbu netral c , diukur secara tegak lurus dari sumbu netral.

- 3) Nilai β_1 ditentukan secara eksperimental. Batas bawah untuk β_1 ditentukan menggunakan data eksperimen balok dengan kekuatan tekan beton lebih besar dari 55 MPa. Nilai β_1 dinyatakan dalam Tabel 2.28.
- g. Tulangan yang digunakan untuk menahan gaya tarik dan tekan harus memenuhi syarat berikut yaitu, tulangan dan kawat nonprategang harus berulir, kecuali untuk batang atau kawat polos diperbolehkan digunakan sebagai tulangan spiral.
- h. Hubungan tegangan-regangan dan modulus elastisitas untuk tulangan ulir harus memenuhi syarat berikut:
 - 1) Untuk batang dan kawat nonprategang, tegangan di bawah f_y adalah E_s dikalikan dengan regangan baja. Untuk regangan lebih besar dari regangan yang menyebabkan f_y maka tegangan harus dianggap tidak terpengaruh dengan regangan dan sama dengan f_y .
 - 2) Modulus elastisitas, E_s , untuk batang dan kawat nonprategang diizinkan untuk diambil sebesar 200.000 Mpa.
7. Prosedur Desain Kolom Pendek

Secara garis besar langkah desain kolom pendek sebagai berikut:

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

2.9.3 Pelat

Yang dimaksud dengan pelat beton bertulang adalah struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Pelat umumnya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang biasanya pelat dicor menjadi satu kesatuan dengan gelagar tersebut. Terdapat tiga jenis perletakan pada pelat yaitu:

1. Terletak bebas

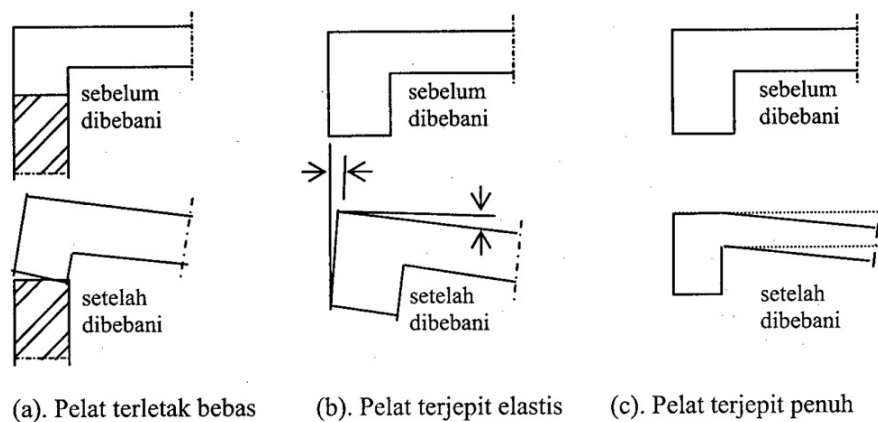
Keadaan ini terjadi jika pelat diletakkan begitu saja diatas balok, atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut (lihat Gambar 2.12 (a)).

2. Terjepit elastis

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, tetapi ukuran balok cukup kecil, sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi pelat (lihat Gambar 2.12 (b)).

3. Terjepit penuh

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, dan ukuran balok cukup besar, sehingga mampu untuk mencegah terjadinya rotasi pelat (lihat Gambar 2.12 (c)).



Gambar 2.12 Jenis Perletakan Pelat pada Balok

(Sumber: Asroni, 2010)

Berdasarkan kondisi tumpuannya, pelat dapat dibedakan mejadi 2 macam yaitu:

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

Pelat satu arah merupakan pelat yang tertumpu hanya pada kedua sisi pelat yang berlawanan saja sehingga aksi struktural dari pelat umumnya bersifat satu arah. Dimana pelat ini diperoleh jika perbandingan panjang terhadap lebar pelat lebih dari dua, $L_y/L_x > 2$. Pelat dengan tulangan pokok satu arah akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever dan pelat yang ditumpu oleh dua tumpuan sejajar.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7 memberikan ketentuan untuk perencanaan pelat dengan penulangan untuk lentur satu arah sebagai berikut:

1. Batasan desain

Ketebalan minimum pelat 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 2.34 berikut:

Tabel 2.34 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

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

^[1]Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa.
(Sumber: SNI 2847:2019)

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

2. Kekuatan desain

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

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.69)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.70)$$

Nilai reduksi, ϕ , ditentukan sesuai dengan Tabel 2.7 diatas.

3. Batasan tulangan

Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$, harus disediakan sesuai Tabel 2.35 berikut:

Tabel 2.35 $A_{s,min}$ Untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

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

Tulangan harus disediakan untuk menahan tegangan susut dan suhu. Penggunaan tulangan ulir untuk menahan susut dan suhu harus sesuai dengan Tabel 2.36 berikut:

Tabel 2.36 Rasio Luas Tulangan Ulir Susut Dan Suhu Minimum Terhadap Luas Penampang Beton Bruto

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

(Sumber: SNI 2847:2019)

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

B. Pelat Dua Arah (Two Way Slab)

Pelat dua arah, yaitu pelat yang ditumpu oleh gelagar pada keempat sisinya, sehingga aksi struktural pada pelat bersifat dua arah. Dimana pelat ini diperoleh jika perbandingan panjang terhadap lebar pelat kurang dari atau sama

dengan dua, $L_y/L_x \leq 2$. Mengingat pelat bersifat fleksibel dan umumnya bertulangan lemah, maka momen sangat tergantung pada kekakuan relatif komponen struktur tumpuan terhadap pelat yang ditumpunya.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8 memberikan ketentuan untuk perencanaan pelat dengan penulangan untuk lentur satu arah sebagai berikut:

1. Batasan desain

Ketebalan minimum pelat untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada Tabel 2.37 berikut:

Tabel 2.37 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

f_y , MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber: SNI 2847:2019)

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 2.38 berikut:

Tabel 2.38 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok Di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
α_{fm}	h minimum, mm		
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)

Tabel 2.38 (Lanjutan) Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok Di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

(Sumber: SNI 2847:2019)

2. Batas lendutan

Lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai dengan Tabel 2.39 berikut:

Tabel 2.39 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$\ell/180$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$\ell/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	$\ell/480$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$\ell/240$

^[1]Batasan tidak dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap genangan air. Genangan air harus diperiksa berdasarkan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat genangan air, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang akibat beban tetap, lawan lendut, toleransi konstruksi, dan keandalan sistem drainase.

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

^[3]Batasan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau disatukan telah dilakukan.

^[4]Batasan tak boleh melebihi batasan toleransi yang disediakan untuk elemen nonstruktural.

(Sumber: SNI 2847:2019)

3. Batas regangan

Pengaruh dari batasan ini adalah untuk membatasi rasio tulangan pada pelat nonprategang untuk mengurangi perilaku getas lentur jika terjadi kelebihan

beban. Batasan ini tidak berlaku untuk pelat prategang. Batasan regangan tulangan pelat nonprategang, ϵ_t sekurang-kurangnya 0,004.

4. Kekuatan desain

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.5 Untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ dan mencakup hal berikut:

- a. $\phi M_n \geq M_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah.
- b. $\phi M_n \geq \gamma_f M_{sc}$ dalam bpelat seperti yang didefinisikan pada 8.4.2.3.3.
- c. $\phi V_n \geq V_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah.
- d. $\phi v_n \geq v_u$ pada penampang kritis yang didefinisikan pada 8.4.4.1 untuk geser dua arah

Nilai reduksi, ϕ , ditentukan sesuai dengan Tabel 2.7 diatas.

5. Batasan tulangan

Batasan tulangan lentur minimum pelat nonprategang dimana luas minimum tulangan lentur $A_{v,min}$ harus disediakan di dekat muka tarik pada arah bentang yang ditinjau sesuai Tabel 2.35 diatas.

6. Spasi tulangan lentur

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

2.9.4 Joint Balok-Kolom dan Pelat-Kolom

Dalam SNI 2847:2019 pasal 15 menjelaskan, hasil uji (Hanson dan Conner, 1967) menunjukkan bahwa daerah *joint* hubungan balok-kolom pada 41 interior bangunan tidak memerlukan tulangan geser jika *joint* dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh balok yang kedalamannya kira-kira sama. Namun, *joint* yang tidak terkekang dengan cara ini, seperti pada eksterior bangunan,

memerlukan tulangan geser untuk mencegah kerusakan akibat retak geser (ACI 352R). *Joint* ini mungkin juga membutuhkan tulangan transversal untuk mencegah tekuk tulangan longitudinal kolom. Untuk daerah di mana gempa kuat dapat terjadi, *joint* mungkin diperlukan untuk menahan pembebanan bolak-balik yang mengembangkan kekuatan lentur dari balok yang bersebelahan.

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

1. Transfer Gaya Aksial Kolom Melalui Sistem Lantai

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

- a. Beton dengan kekuatan tekan yang dispesifikasikan untuk kolom harus digunakan untuk lantai di lokasi kolom. Beton kolom harus digunakan untuk pelat sejauh jarak 600 mm dari muka kolom dan menyatu dengan beton pelat.
- b. Kekuatan rencana dari sebuah kolom melalui suatu sistem lantai harus dihitung menggunakan nilai terkecil antara kekuatan beton dengan dowel vertikal dan spiral yang diperlukan untuk mencapai kekuatan yang cukup.
- c. Untuk *joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang dapat diizinkan untuk menghitung kekuatan rencana kolom berdasarkan kekuatan beton asumsi pada *joint* tersebut. Angka kekuatan beton ini dapat diambil sebesar 75 % dari kekuatan beton kolom ditambah 35 % dari kekuatan beton pada lantai, dimana kekuatan beton kolom tidak boleh melebihi 2,5 kali kekuatan beton lantai.

2. Detail *Joint*

Joint balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang dan bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik, tidak perlu memenuhi ketentuan pada Persamaan (2.68) dan persamaan (2.69) untuk tulangan transversal. Luas kaki tulangan transversal pada setiap arah utama *joint* balok-kolom dan pelat-kolom harus diambil nilai terbesar dari:

$$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.71)$$

$$0,35 \frac{b_s}{f_{yt}} \quad (2.72)$$

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

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

2.10 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus merupakan suatu sistem dimana gaya lateral ditahan oleh struktur yang bersifat daktail. Dimana daktail atau daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca elastik secara berulang dalam skala besar sehingga dapat berdeformasi dengan tetap mempertahankan kekuatan agar struktur dapat tetap berdiri. Daktilitas bangunan struktur beton didapatkan dengan pendetailan penulangan yang ketat.

2.10.1 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser.

1. Batasan Dimensi

Sebuah komponen lentur bagian dari SRPMK, harus memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.2 batasan dimensi balok harus memenuhi hal-hal berikut:

- a. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , tidak lebih dari $A_g f'_c / 10$.
- b. Bentang bersih, l_n , harus minimal $4d$.

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

2. Tulangan longitudinal

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.3 persyaratan tulangan longitudinal yang harus diperhatikan dalam perencanaan komponen lentur SRPMK, sebagai berikut:

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

3. Tulangan transversal

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.4 persyaratan tulangan transversal yang harus diperhatikan dalam perencanaan komponen lentur SRPMK, sebagai berikut:

- a. Sengkang pengekat harus dipasang pada balok di daerah berikut:

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

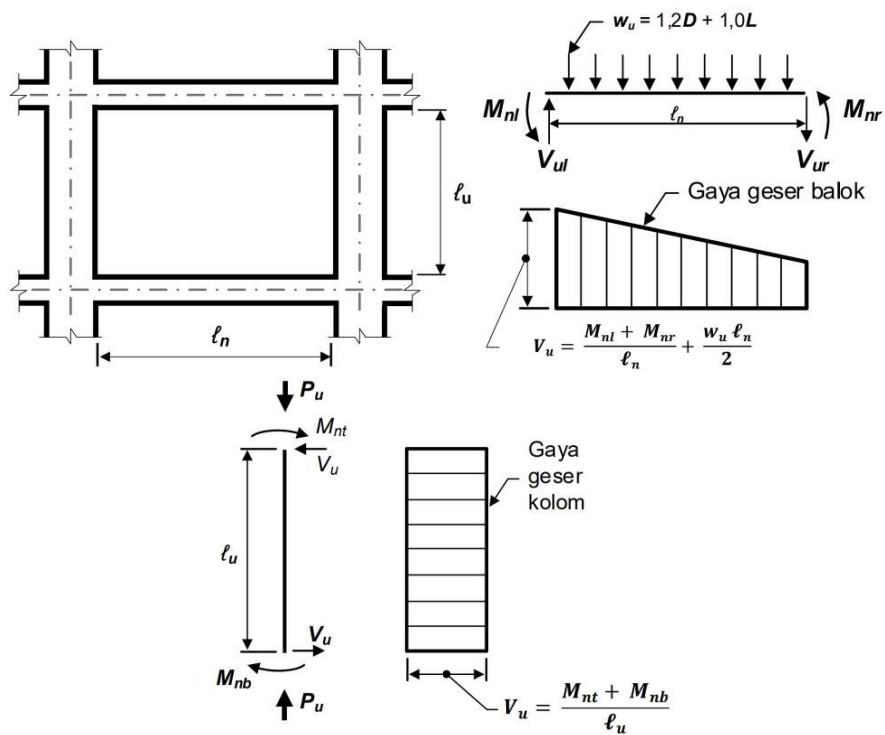
4. Kekuatan geser

Persyaratan yang berlaku untuk kekuatan geser berdasarkan SNI 2847:2019 adalah sebagai berikut:

- a. Gaya geser desain V_e harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} ,

harus diasumsikan bekerja pada muka-muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

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



Gambar 2.13 Geser Desain untuk Balok dan Kolom

(Sumber: SNI 2847:2019)

2.10.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial. Komponen SRPMK yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya

gempa dan diproporsikan terutama untuk menahan lentur, geser, dan aksial harus memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

1. Batasan dimensi

Sebuah komponen lentur dan aksial bagian dari SRPMK, harus memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2 batasan dimensi kolom harus memenuhi hal-hal berikut:

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

2. Kekuatan lentur minimum kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{nb} \quad (2.73)$$

Dimana:

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

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

3. Tulangan longitudinal

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.4 desain tulangan longitudinal harus memenuhi hal-hal berikut:

- a. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.
- b. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
- c. Jika sambungan lewatan harus digunakan, maka harus diletakkan di daerah tengah tinggi lantai (*midheight*) di mana tegangan bolak-balok cenderung terbatas pada rentang tegangan yang lebih kecil daripada di lokasi dekat *joint*.

4. Tulangan transversal

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.5 tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang

penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik.

- a. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
 - a) Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi.
 - b) Seperenam tinggi bersih kolom.
 - c) 450 mm.
- b. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:
 - a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom.
 - b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
 - c) s_o , yang dihitung dengan:

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2.74)$$

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

- c. Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 2.40.

Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengeangan k_n dihitung berdasarkan:

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \quad (2.75)$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \quad (2.76)$$

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

Tabel 2.40 Tulangan Transversal Untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)

Tabel 2.40 (Lanjutan) Tulangan Transversal Untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
ρ_s untuk spiral ataupun senggang pengekang lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (d)}$
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (e)}$ $0,35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \text{ (f)}$

(Sumber: SNI 2847:2019)

5. Tulangan geser

Gaya geser desain, V_e , arus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan, M_{pr} , balok yang merangka ke *joint*. Nilai, V_e , tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

2.10.3 *Joint* Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

1. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_v$.
2. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
3. Tinggi *joint* h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada *joint* tersebut dan yang menyebabkan geser pada *joint* sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.
4. Kekuatan geser V_n *joint* harus sesuai Tabel 2.41.

Tabel 2.41 Kekuatan Geser Nominal *Joint* V_n

Konfigurasi <i>Joint</i>	V_n
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya	$1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan.	$1,2\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$
Untuk kasus-kasus lainnya.	$1,0\lambda\sqrt{f'_c}A_j^{[2]}$

^[2] λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal.

(Sumber: SNI 2847:2019)

5. Luas penampang efektif dalam suatu *joint*, A_j , harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom, h . Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a) Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

6. Panjang penyaluran tulangan tarik.

- a. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran l_{dh} harus dihitung berdasarkan Pers. (2.77). Untuk beton normal, l_{dh} yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm.

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f'_c}} \quad (2.77)$$

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

- b. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik l_d untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara:
 - a) 2,5 kali panjang sesuai butir (a.) bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm.

- b) 3,25 kali panjang sesuai butir (a.) bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
- c. Tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian l_d yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

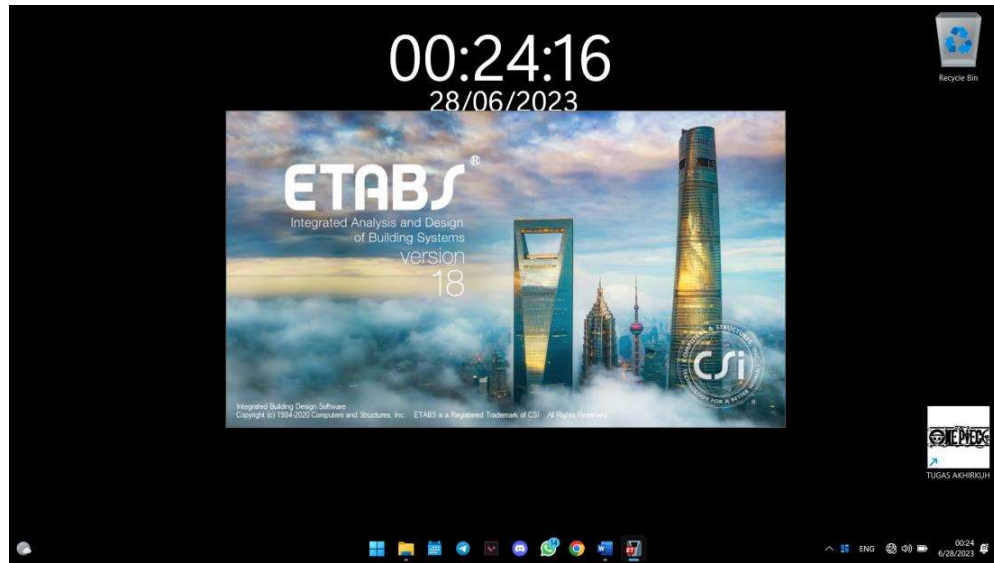
2.11 *Software* ETABS

ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis Building Systems*) merupakan perangkat lunak hasil karya *CSI Bekeley*, program ini sangat *Power Full* dalam melakukan permodelan struktur analisis, dan desain. Program ETABS ini juga mampu untuk memecahkan beragam permodelan dan permasalahan yang rumit sekalipun. Program ETABS secara khusus difungsikan untuk menganalisis lima perencanaan struktur, yaitu analisis frame baja, analisis frame beton, analisis balok komposit, analisis baja rangka batang, analisis dinding geser. Penggunaan program ini untuk menganalisis struktur, terutama untuk bangunan tinggi sangat tepat bagi perencana struktur karena ketepatan dari output yang dihasilkan dan efektif waktu dalam menganalisisnya. Program ETABS sendiri telah teruji aplikasinya di lapangan dan banyak konsultan-konsultan perencana struktur ternama telah menggunakan program ini untuk analisis struktur.

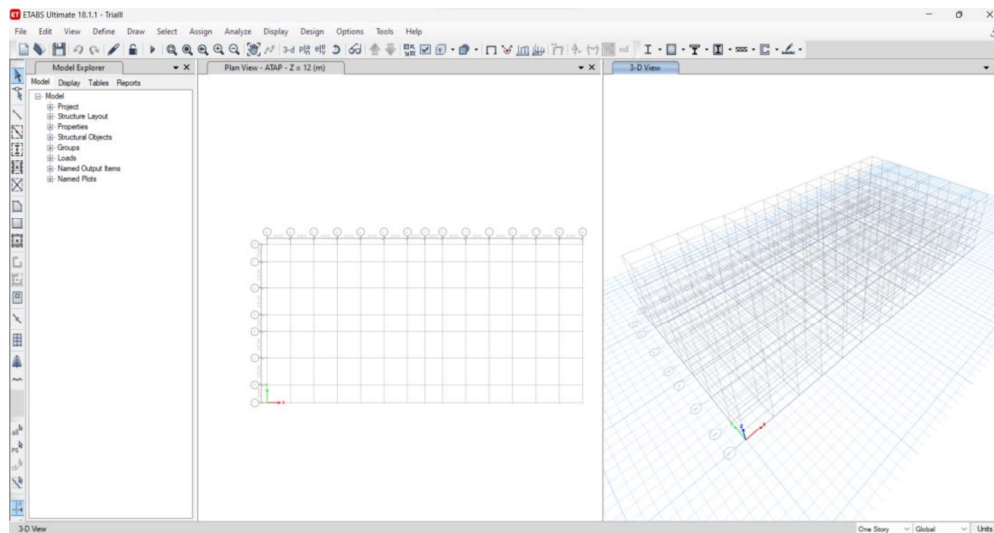
2.11.1 Tahapan-Tahapan ETABS

Dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi menggunakan *software* ETABS, ada beberapa tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Berikut adalah tahapan-tahapan ETABS:

1. Membuka program ETABS.
2. Melakukan pembuatan model.
3. Input data material.
4. Input data dimensi penampang.
5. Menggambar kolom, balok, dan pelat.
6. Input Pembebanan
7. Analisis Struktur
8. Kontrol



Gambar 2.14 Tampilan *Software* ETABS V.18



Gambar 2.15 Tampilan Jendela Depan *Software* ETABS V.18