

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan

Bangunan dengan struktur yang baik harus dapat menahan beban-beban yang akan diterima pada bangunan tersebut sesuai dengan peraturan-peraturan yang digunakan pada perancangan gedung tersebut. Beban-beban tersebut telah dijelaskan didalam SNI 1727 2020 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain yaitu sebagai berikut:

2.1.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran

Tabel 2. 1 Berat Jenis Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	Berat (kN/m³)
1	Beton Bertulang	24

Tabel 2. 2 Berat Jenis Komponen Bangunan.

No.	Bahan Bangunan	Berat (kN/m³)
1	Adukan, per cm tebal	0,21
2	Dinding batako berlubang, tebal 10 cm	1,20
3	Plumbing dan instalasi listrik	0,25
4	Penutup lantai tanpa adukan, per cm tebal lantai	0,24
5	Plafond + Rangka	0,20

2.1.2 Beban Hidup

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

beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI & 1727, 2020 Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung dan Bangunan Lain).

Tabel 2. 3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum (SNI 1727 2020)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Tabel 2. 4 (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1	
Batang pegangan				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. 5 (Lanjutan)

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 Ib (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 fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

Tabel 2. 6 (Lanjutan)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
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 Tentang Beban minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung Struktur atau Non-struktur.

2.1.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. (PPPURG-1987). Beban angin yang digunakan dalam desain SPBAU (Sistem Penahan beban Angin Utama) untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup Sebagian tidak boleh lebih kecil dari 0,77 kN/m² dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 0,38 kN/m² dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksi pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang di asumsikan. Beban dinding dan atap harus ditetapkan secara simultan. Gaya angin desain untuk bangunan gedung terbuka harus tidak kurang dari 0,77 kN/m² dikalikan dengan luas bangunan gedung yang terbuka dan struktur lainnya baik

yang tegak lurus terhadap arah angin ataupun di proyeksikan pada bidang yang tegak lurus terhadap arah angin.

2.1.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari Gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh Gerakan tanah akibat gempa itu.

2.1.4.1 Klasifikasi Struktur Gedung

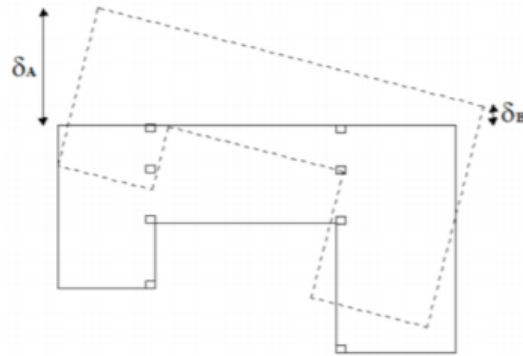
Menurut SNI 1726-2019, struktur bangunan gedung dapat di klasifikasikan sebagai struktur beraturan dan tidak beraturan. Struktur gedung dapat dikatakan tidak beraturan jika mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti pada daftar berikut :

1. Ketidakberaturan Horizontal pada struktur.

Tabel 2. 7 Klasifikasi Ketidakberaturan Horizontal.

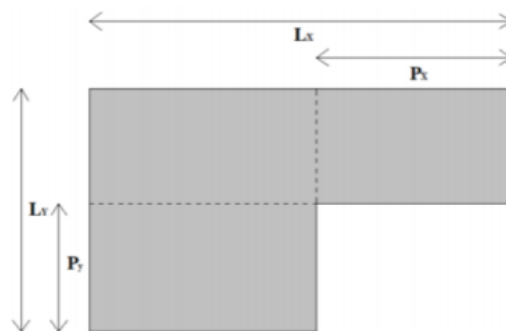
No.	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.
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 diafragma kaku atau setengah kaku.
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.
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.
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.
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).



(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 1 Ketidakteraturan 1a dan 1b.



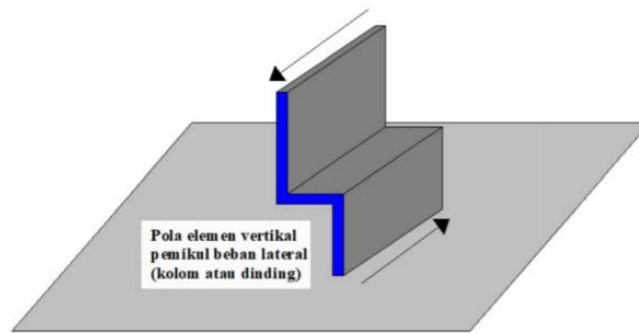
(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 2 Ketidakteraturan 2.



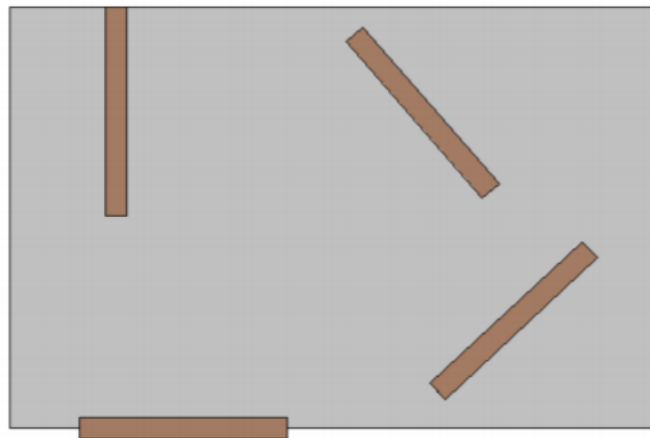
(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 3 Ketidakteraturan 3.



(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 4 Ketidakberaturan 4.



(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 5 Ketidakberaturan 5.

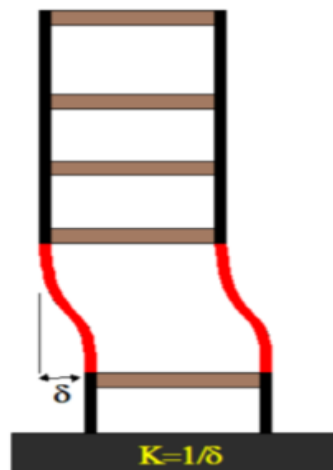
2. Ketidakberaturan Vertikal pada struktur.

Tabel 2. 8 Ketidakberaturan Vertikal pada struktur.

No.	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
1a	Ketidakteraturan 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
1b	Ketidakteraturan 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.

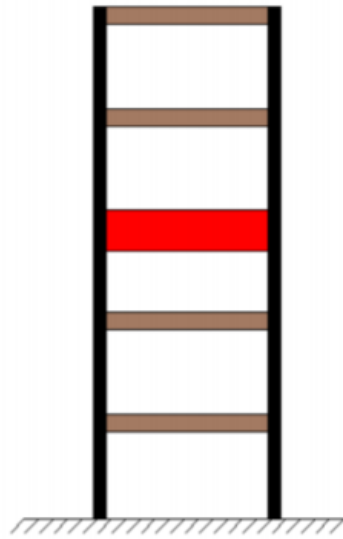
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.
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.
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.
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.

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).



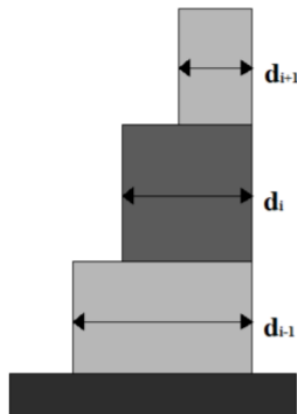
(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b.



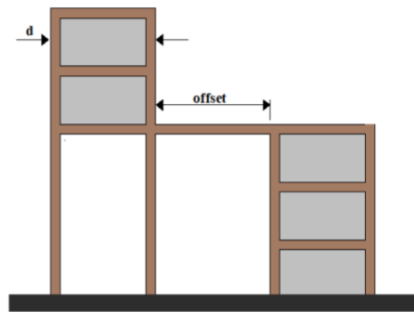
(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Vertikal 2.



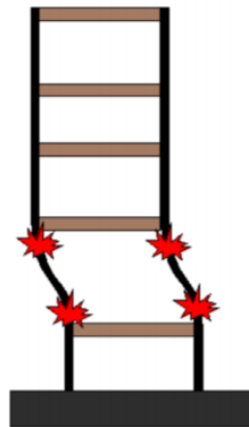
(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 8 Ketidakberaturan Vertikal 3.



(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Vertikal 4.



(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b.

2.1.4.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Bangunan Gedung

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai Tabel 2.7 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 2.8.

Tabel 2. 9 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung Untuk Beban Gempa.

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

<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>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.</p>	III
---	------------

<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat. - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV
---	-----------

Tabel 2. 10 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

2.1.4.3 Klasifikasi Situs

Profil tanah di situs diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah pada lapisan 30 m terhitung dari permukaan tanah. Penetapan kelas situs ini harus melalui uji bor log atau uji N-Spt.

Tabel 2. 11 Klasifikasi Situs.

Kelas Situs	v (m/detik)	N atau Nph	Su (kPa)
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, Sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 Sampai 100
SE (Tanah Lunak)	<175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks Plastisitas $PI > 20$, 2. Kadar Air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa 		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti budak likuifikasi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N-Spt) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Dimana :

d_i = Tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m dari permukaan.

N_i = Tahanan penetrasi standar pada lapisan ke-i.

2.1.4.4 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER 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:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Dimana:

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

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik.

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MC_{ER} terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MC_{ER} terpetakan untuk periode 1,0 detik.

F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek.

F_v = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

Tabel 2. 12 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) 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	2,5	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Catatan :

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

Tabel 2. 13 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI-1726-2019, Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung).

Catatan :

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

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Dimana :

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

S_{D1} = Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

2.1.4.5 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 3 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,

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

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:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Keterangan:

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

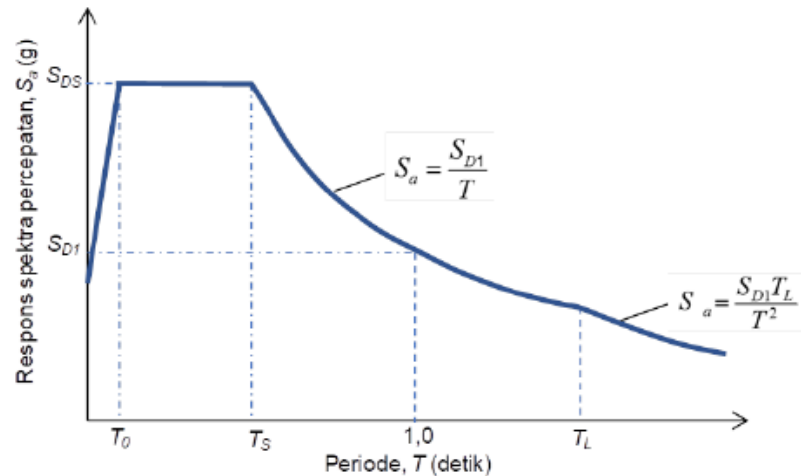
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

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

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

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang nilainya diambil dari Gambar 20.



Gambar 2. 11 Respons Spektrum Desain.

2.1.4.6. Kategori Desain Seismik (KDS)

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 8 dan Tabel 9, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2. 14 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek.

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	B
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Tabel 2. 15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik.

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDS$	D	D

2.1.4.7. Struktur Penahan Gaya Gempa

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 12.

Tabel 2. 16 Faktor R, Cd, 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_s (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 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
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	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	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 canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
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 canai 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	3¾	2	3¾	TB	TB	10 ^j	10 ^j	TI ^j
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,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

Tabel 2. 17 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (Lanjutan).

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_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
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 canai 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 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^f	TI ^f	TI ^f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	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 canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^h	3½	3 ^e	3½	10	10	10	10	10
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 ^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

Tabel 2. 18 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (Lanjutan).

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
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 ^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 ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
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

2.1.4.8. Sambungan Dinding Struktural

Dinding struktural yang berfungsi sebagai penumpu beban vertikal atau pemikul geser lateral untuk bagian struktur harus diangkurkan ke pelat atap dan seluruh pelat lantai serta elemen-elemen struktur yang memberikan tahanan lateral untuk dinding atau yang ditumpu oleh dinding. Angkur harus memberikan sambungan langsung antara dinding-dinding dan konstruksi pelat atap atau konstruksi pelat lantai. Angkur harus mampu menahan gaya horizontal terfaktor yang tegak lurus bidang

dinding sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari 0,24 kN/m².

2.1.4.9. Gempa Dasar Seismik

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

$$V = C_s W$$

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

Dimana :

C_s = Koefisien respons spektrum.

W = Berat seismik efektif.

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

R = Faktor modifikasi respons.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Nilai C_s yang dihitung sesuai tidak boleh lebih dari :

$$C_{maks} = \frac{S_{D1}}{T \left(R/I_e\right)}$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

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:

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

dengan : S_{D1} = parameter percepatan spektrum desain pada periode 1 detik.

T = Periode fundamental struktur.

S_I = parameter percepatan respons spektral maksimum yang ditetapkan yang ditentukan sesuai SNI-1726-2019 pasal 6.10.4 mengenai parameter – parameter percepatan desain.

2.1.4.10. Periode Fundamental Pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x$$

dimana :

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.17.

Tabel 2. 16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

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 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n$$

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

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

Keterangan:

A_B = luas dasar struktur (m²)

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

- D_i = panjang dinding geser ke- i (m)
 x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

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 2.18 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai rumus di atas. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung rumus di atas.

Tabel 2. 17 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	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

Sehingga untuk menentukan perioda fundamental struktur (T) yang digunakan, dibatasi dengan persyaratan berikut:

- Jika : $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$
 $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$
 $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

2.1.5. Kombinasi Pembebanan Dasar

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu

ditinjau secara simultan. Lihat SNI-1726-2019 pasal 7.4.2 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

1. $U = 1, 4D$
2. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
6. $U = 0,9D + 1,0W$
7. $U = 0,9D + 1,0E$

2.2 Perencanaan Pelat Lantai

2.2.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah ialah pelat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya lebih besar dari dua. 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 2.4, kecuali perhitungan lendutan dilaksanakan sesuai pasal 7.3.2 SNI 2847-2019.

Tabel 2. 18 Tebal Minimum Pelat Satu Arah Non Prategang

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

Tabel diatas berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk f_y lebih dari 420 MPa persamaan pada tabel 2.4 harus dikali dengan $(0,4 + f_y/700)$. Untuk pelat nonprategang dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, pers pada tabel 2.4 dikalikan dengan

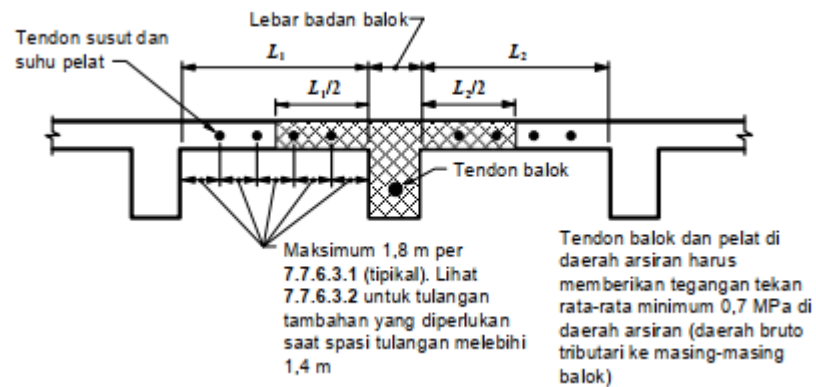
- a) $1,65 - 0,0003w_c$
- b) 1,09

Untuk kuat desain pelat satu arah untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk a) dan b). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

a) $\phi M_n \geq M_u$

b) $\phi V_n \geq V_u$

Untuk batasan-batasan penulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum serta tulangan susut minimum diatur dalam pasal 7.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan baik itu spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan geser, maupun tulangan susut dan suhu diatur dalam pasal 7.7 SNI 2847-2019.



Gambar 2. 12 Potongan penampang balok yang dicor monolit dengan pelat.

2.2.2 Pelat Dua Arah

Ialah pelat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya tidak lebih dari dua. Untuk ketebalan pelat non prategang tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya nilai h tidak boleh kurang dari batasan pada **Tabel 2.5** dan memiliki nilai terkecil antara a) atau b), kecuali apabila lendutan diperhitungkan:

a) Pelat tanpa *drop panel* sesuai pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 125 mm

b) Pelat dengan *drop panel* sesuai pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 100 mm

Tabel 2. 19 etebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior.

f_y , MPa	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

l_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm). Kemudian untuk pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f harus dihitung sesuai pasal 8.10.2.7 pada SNI 2847-2019.

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada **Tabel 2.6** kecuali lendutan diperhitungkan

Tabel 2. 20 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya.

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Sesuai pasal 8.3.1.1 SNI 2847-2019		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari	$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari	$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	
		90	(e)

Dimana:

h : Tebal pelat (mm)

l_n : Panjang bersih bentang pelat (mm)

f_y : Tegangan leleh tulangan baja (Mpa)

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

α_{fm} : Nilai rata-rata dari α_m untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

α : Rasio dari kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat

$$\alpha = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

Dimana

I_b : Momen Inersia sumbu titik pusat penampang bruto balok

I_s : Momen Inersia sumbu titik pusa penampang bruto pelat

E_{cb} : Modulus Elastisitas Balok

E_{cs} : Modulus Elastisitas Pelat

Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai pasal 8.3.1.2 SNI 2847-2019, harus disediakan balok tepi dengan rasio kekakuan $\alpha_f \geq 0,8$ atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers (2.7) atau (2.8) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi tidak menerus.

Untuk kuat desain pelat satu arah untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi pasal 8.4 SNI 2847-2019. Kemudian untuk batasan-batasan penulangan diatur dalam pasal 8.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan diatur dalam pasal 8.7 SNI 2847-2019.

2.3 Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang memiliki fungsi untuk menopang lantai di atasnya serta sebagai penyalur momen ke kolom-kolom yang menopang dibawahnya. Balok yang bertumpu langsung kepada kolom disebut balok induk, sedangkan balok yang bertumpu pada balok induk disebut balok anak. Beberapa jenis keruntuhan yang terjadi pada balok, yaitu sebagai berikut:

1. Penampang seimbang (*Balance*), tulangan tarik beton mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batas dan akan hancur karena tekan.
2. Penampang *over reinforced*, keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan, namun tulangan tarik pada beton belum leleh. Kondisi ini terjadi apabila

tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balance*.

3. Penampang *under reinforced*, keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan tarik pada beton, namun betonnya sendiri belum hancur. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang dibutuhkan pada kondisi *balance*.

Untuk perencanaan, sangat dihindari kondisi penampang *over reinforced*, karena sistem bersifat getas dan dapat berakibat runtuhnya balok secara mendadak. Sistem perencanaan beton bertulang pada penampang balok dengan keruntuhan *balance* merupakan kondisi ideal namun sulit untuk tercapai, sedangkan sistem penampang *under reinforced* boleh digunakan, karena mudah dicapai dan dapat dijamin keamanannya selama baja tulangan yang direncanakan tidak terlalu kecil atau sedikit.

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 2.6**, kecuali apabila lendutan diperhitungkan

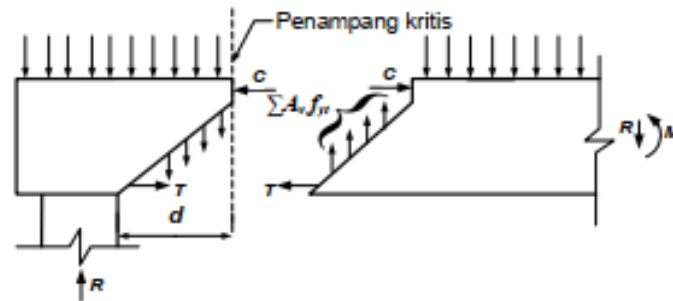
Tabel 2. 21 Tebal Minimum Balok Non Prategang bila Lendutan Tidak Dihitung

Kondisi perlekatan	Minimum h
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Meners dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

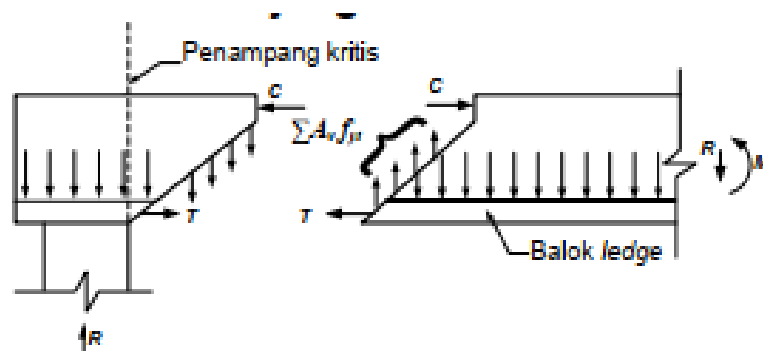
Tabel diatas berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk f_y lebih dari 420 MPa persamaan pada **Tabel 2.6** harus dikali dengan $(0,4 + f_y/700)$. Untuk balok nonprategang dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, pers pada **Tabel 2.6** dikalikan dengan

- a) $1,65 - 0,0003w_c$
- b) 1,09

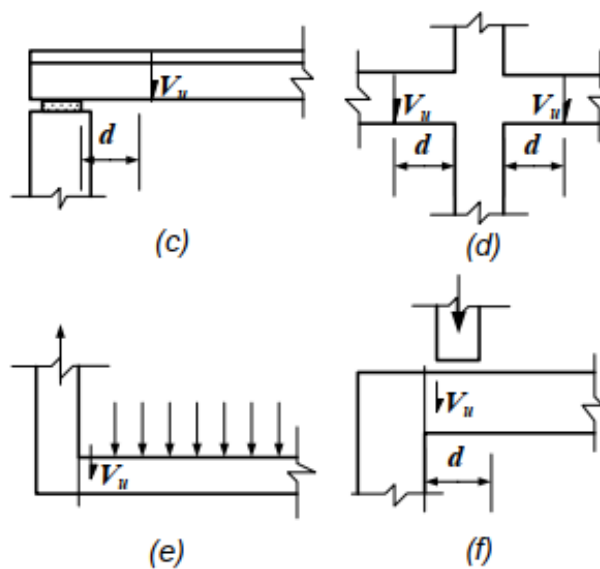
Untuk perencanaan kuat perlu balok, baik itu momen terfaktor, geser terfaktor serta torsi terfaktor dijelaskan pada pasal 9.4 SNI 2847-2019.



Gambar 2. 13 Diagram *free body* dari ujung sebuah balok



Gambar 2. 14 Lokasi penampang kritis untuk geser pada sebuah balok yang dibebani dekat bawah balok



Gambar 2. 15 Tipikal kondisi-kondisi tumpuan untuk menentukan lokasi gaya geser terfaktor V_u

Untuk kuat desain balok untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk a) hingga d). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

- a) $\phi M_n \geq M_u$
- b) $\phi V_n \geq V_u$
- c) $\phi T_n \geq T_u$
- d) $\phi P_n \geq P_u$

Fungsi balok ialah menahan gaya lentur (momen), gaya geser, serta torsi. Karena keterbatasan fungsi beton, maka balok harus diberi tulangan untuk menahan gaya-gaya yang terjadi. Untuk batasan-batasan penulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum serta tulangan torsi minimum diatur dalam pasal 9.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan baik itu spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan geser, maupun tulangan torsi diatur dalam pasal 9.7 SNI 2847-2019.

2. 4 Kolom

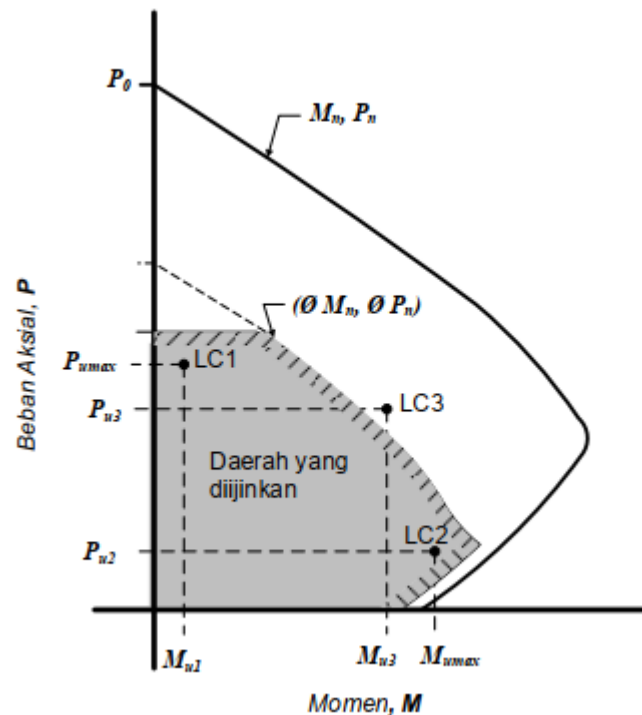
Kolom merupakan elemen utama pada struktur bangunan gedung karena fungsinya sebagai penyalur beban dari balok dan lantai ke sistem fondasi dibawahnya. Kolom dibedakan menjadi beberapa jenis menurut bentuk dan susunan tulangan, serta letak atau posisi beban aksial pada penampang kolom. Disamping itu, juga dapat dibedakan menurut ukuran panjang dan pendeknya suatu kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya sebagai berikut

1. Kolom Pendek, jika keruntuhan terjadi pada material penampang, yaitu tulangan mengalami leleh pada tarik atau beton mengalami pecah pada daerah tekan
2. Kolom Langsing, menghasilkan tekuk akibat gaya tekan yang bekerja, padahal tegangan pada penampang bersifat elastis.

Untuk kolom dengan penampang lebih besar dari yang dibutuhkan oleh beban yang dipertimbangkan, diperbolehkan untuk mengelompokkan penampang bruto yang dipakai, kebutuhan tulangan, dan kekuatan desain, diambil dari luas efektif tereduksi,

tidak kurang dari setengah total area. Ketentuan ini tidak berlaku untuk kolom yang tidak termasuk bagian dari sistem penahan gaya gempa harus didesain berdasarkan pasal 18 SNI 2847-2019.

Kuat perlu harus dihitung berdasarkan kombinasi beban terfaktor serta harus dianalisis berdasarkan prosedur analisis pada pasal 6 SNI 2847-2019. P_u dan M_u terjadi bersamaan untuk setiap kombinasi beban terfaktor harus dipertimbangkan.



Gambar 2. 16 Kombinasi beban kritis kolom

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk a) hingga d). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

- e) $\phi M_n \geq M_u$
- f) $\phi V_n \geq V_u$
- g) $\phi T_n \geq T_u$
- h) $\phi P_n \geq P_u$

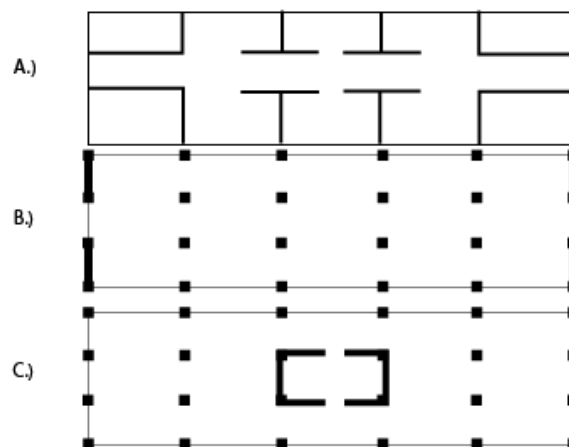
2.5 Dinding Geser (*Shear Wall*)

2.5.1 Pengertian Dinding Geser

Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

Dinding geser adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. Bearing walls adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi . Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. Frame walls adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
3. Core walls adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.



Gambar 2. 17 Jenis *Dinding Geser* Berdasarkan Letak dan Jenisnya

2.5.2 Elemen Struktur Dinding Geser

Pada umumnya dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu :

- (a) *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- (b) *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- (c) *Coupled Dinding Geser* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 14.3.3.1, tebal minimum dinding geser (t_d) tidak boleh kurang dari 140 mm atau $1/24$ dari panjang dan tinggi dinding yang tak tertumpu.

Tabel 2. 22 Ketentuan desain yang menentukan untuk segmen vertikal dinding

Rasio tinggi bersih dan panjang segmen vertikal dinding (h_w/l_w)	Panjang segmen vertikal dinding / tebal dinding (l_w/b_w)		
	$(l_w/b_w) \leq 2,5$	$2,5 < (l_w/b_w) \leq 6,0$	$(l_w/b_w) > 6,0$
$h_w/l_w < 2,0$	Dinding	dinding	dinding
$h_w/l_w \geq 2,0$	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.10.8.1	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom atau persaratan alternatifnya sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.10.8.1	dinding

Keterangan :

h_w = Tinggi bersih dinding

l_w = Panjang horizontal

b_w = Lebar badan segmen dinding

Dalam pelaksanaannya dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen. Dinding struktural yang biasa digunakan pada gedung tinggi adalah dinding geser kantilever, dinding geser berangkai, dan sistem 6 rangka-dinding geser (dual system). Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifat dan perilakunya digabungkan sehingga diperoleh struktur yang lebih ekonomis. Kerja sama ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam sistem struktur berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5 yaitu:

- (a) Sistem ganda yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser atau bresing. Rangka pemikul momen sekurang-kurangnya mampu menahan 25% dari gaya lateral dan sisanya ditahan oleh dinding geser. Nilai koefisien modifikasi respons (R) yang direkomendasikan untuk sistem ganda dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah 7 (Tabel 12 SNI 1726-2019).
- (b) Sistem interaksi dinding geser dan rangka yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka beton bertulang dan dinding geser biasa. Nilai R yang direkomendasikan untuk sistem interaksi dinding geser dan rangka adalah 4,5 (Tabel 12 SNI 1726-2019).
- (c) Sistem rangka gedung yaitu sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, gaya lateral akibat gempa yang terjadi dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

2.5.3 Strategi Penempatan Dinding Geser

Salah satu faktor yang menentukan efektifitas *Dinding Geser* dalam sistem struktur gedung adalah posisi Dinding Geser pada denah struktur. banyak faktor yang mempengaruhi posisi Dinding Geser pada struktur baik dari segi fungsi, arsitektur,

atau bahkan permintaan khusus dari pemilik gedung. Sehingga terkadang posisi yang diputuskan tidak memperhatikan efektifitas dari sudut pandang para engineer struktur hal tersebut bukan berarti struktur *Dinding Geser* tidak bisa diwujudkan, hanya saja perencanaan struktur dari gedung tersebut akan lebih rumit yang tentunya akan mempengaruhi besaran biaya yang harus di keluarkan sebagai konsekwensi ketidakefektifan dari penempatan *Dinding Geser*.

Faktor yang paling penting dalam penentuan lokasi *Dinding Geser* adalah beban lateral yang mungkin akan bekerja pada struktur gedung, baik beban angin ataupun beban gempa. Perilaku yang berbeda ditunjukkan oleh struktur *Dinding Geser* saat memikul kedua beban tersebut. Saat menerima beban angin, perilaku yang diharapkan pada struktur *Dinding Geser* adalah perilaku elastis yang mengandung arti bahwa selama menerima beban angin, struktur Dinding Geser tidak mengalami kerusakan sama sekali. Sehingga saat beban angin hilang, maka *Dinding Geser* akan kembali pada bentuk/posisi semula. Berbeda halnya saat memikul beban gempa, perilaku yang diharapkan pada elemen Dinding Geser adalah perilaku *inelastic deformation*, dimana struktur Dinding Geser akan mengalami kerusakan pada strukturnya. Namun ini hanya berlaku untuk beban gempa yang tergolong besar. Sedangkan bila menerima beban gempa kecil, perilaku Dinding Geser sama dengan saat memikul beban angin, yaitu berperilaku elastis.

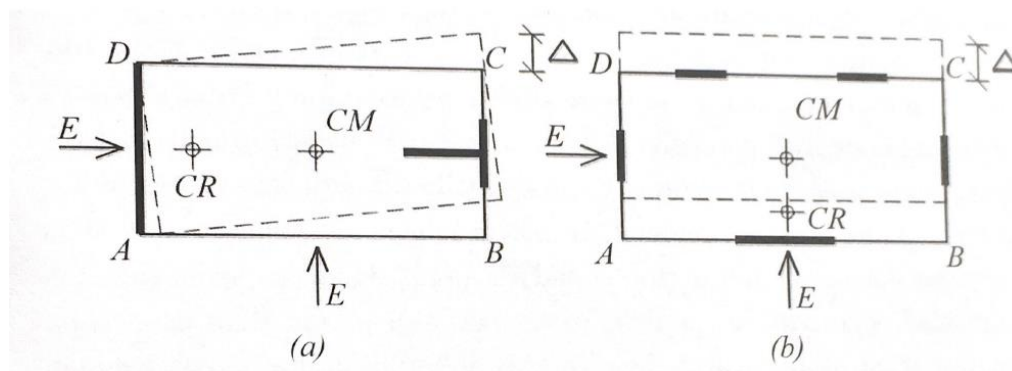
Selain faktor beban, pertimbangan terbesar dalam menentukan posisi *Dinding Geser* adalah aspek simetris kekakuan struktur dan stabilitas torsi struktur. Aspek kekakuan sangat berpengaruh pada posisi *center of rigidity (CR)* dari sistem struktur. Seperti yang telah dibahas diawal bahwa semakin dekat jarak CR terhadap *center of mass (CM)*, maka perilaku struktur akan lebih stabil tanpa torsi yang berlebih saat terjadi

beban gempa. Posisi *CR* yang ideal tentunya tidak terlepas dari posisi *Dinding Geser* yang ditempatkan secara simetris, sehingga akan meningkatkan stabilitas torsi

dari struktur tersebut. Dari semua pertimbangan tersebut, harapan utamanya adalah Dinding Geser bisa mengurangi gaya lateral yang dipikul oleh sistem rangka, sehingga dimensi balok dan kolom dapat bekerja secara lebih optimal, dan otomatis akan menekan biaya yang harus dikeluarkan dalam proses pembangunan. Namun faktor dari kestabilan struktur tetap menjadi pertimbangan utama bagi seorang engineer.

Untuk menjelaskan stabilitas torsi pada struktur dual system berdasarkan kondisi *inelastic*, maka dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut terdapat dua struktur dual system dengan formasi *Dinding Geser* yang berbeda. Pada Gambar 3.2(a), bila struktur menerima beban lateral pada arah memanjang, stabilitas torsi tergolong aman. Hal ini dikarenakan, posisi *CM* dan *CR* berada pada satu garis sehingga tidak ada eksentrisitas (tidak terjadi torsi) saat terjadi beban lateral pada arah memanjang. Namun meskipun terdapat eksentrisitas sekalipun, stabilitas torsi masih tergolong baik, dan karena elemen pada arah memendek (melintang) menyediakan tahanan torsi yang baik, misalnya adanya Dinding Geser pada sisi *AD* dan *Dinding Geser* bersayap pada sisi *BC* yang akan mencegah gedung terpuntir. Bila ditinjau saat terjadi beban lateral pada arah memendek, maka eksentrisitas yang terjadi akan memberikan efek puntir (torsi) pada struktur. Dengan posisi titik *CR* dan *CM* seperti pada gambar, maka perilaku puntir akan cenderung memutar struktur kearah kiri (berlawanan arah jarum jam). Dengan demikian, Dinding Geser pada sisi *BC* yang akan lebih berperan dalam memikul pengaruh tersebut. Dalam kondisi tersebut, tentunya untuk menjamin bahwa *Dinding Geser* akan mengalami perilaku *inelastic* secara bersamaan, dikarenakan variasi distribusi massa dan kekakuan yang tidak merata. Sehingga bila pada kondisi tersebut, *Dinding Geser* pada sisi *BC* terlebih dahulu mengalami deformasi *inelastic*, maka tahanan torsi yang tersedia pada struktur tersebut tidak akan cukup untuk menahan pengaruh puntir yang terjadi. Dengan kata lain, struktur pada Gambar 3.2(a), dapat dikategorikan *torsionally unstable*. Berbeda halnya dengan perilaku struktur pada Gambar 3.2(b). Bila ditinjau dari arah memendek (melintang), saat terjadi beban lateral pada arah tersebut, maka struktur cenderung stabil. Hal ini bisa dilihat dari formasi Dinding Geser yang simetris pada

struktur gedung dan titik CM & CR yang terletak pada satu garis, sehingga (tidak ada eksentrisitas momen torsi) pada struktur. Meskipun terjadi perpindah ruktur akibat beban lateral, maka perpindahan yang terjadi tergolong *regular* (beraturan) seperti yang terlihat pada gambar. Bila ditinjau memanjang, saat terjadi beban lateral pada arah tersebut kan ada efek puntir (torsi) pada struktur akibat adanya eksentrisitas antara CM dan CR . Dengan melihat formasi pada gambar, maka struktur akan cenderung memuntir kearah kanan (searah jaru Namun meski demikian, dikarenakan formasi Dinding Geser yang rencanakan terbilang simetris, maka efek torsi pada struktur bisa direspon dengan baik. Meskipun terjadi perilaku *inelastic* pada *Dinding Geser* pada sisi CD , pengaruh torsi akan ditahan oleh struktur pada memendek khususnya *Dinding Geser* pada sisi AD dan BC . Dengan kata lain, struktur pada Gambar 3.2(b), dapat dikategorikan *torsionally stable*.



Gambar 2. 18 Stabilitas torsi pada struktur dual system.

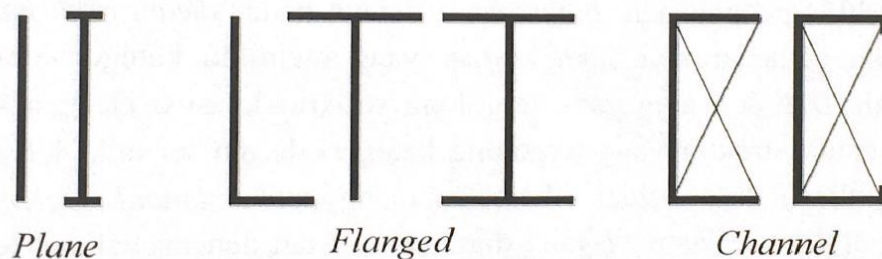
Sebagai kesimpulan dari pembahasan ini, ada tiga aspek yang bisa menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi Dinding Geser dari struktur tahan gempa yaitu:

- a. Untuk memberikan tahanan torsi yang baik pada struktur gedung, rencanakan posisi Dinding Geser pada keliling gedung pada sisi terluar seperti pada Gambar 3.2(b). Struktur Dinding Geser bisa berupa single Dinding Geser atau couple Dinding Geser.

- b. perlu perencanaan yang lebih detail terhadap pondasi Dinding Geser dikarenakan adanya beban yang cukup besar, baik itu beban mati maupun beban berupa momen, yang harus dipikul oleh struktur pondasi. Dengan demikian struktur pondasi memiliki kapasitas untuk menyerap energi dari gaya dalam (*overturning moment*) yang terjadi selama *Dinding Geser* menerima beban gempa.
- c. Khusus struktur *high rise building* yang berada pada daerah gempa tinggi, hal yang perlu diperhatikan adalah bila struktur menggunakan Dinding Geser yang jumlahnya tergolong sedikit (satu atau dua), maka pondasi Dinding Geser dipastikan akan menerima gaya yang sangat besar. Sehingga kemungkinan perlu memperbesar dimensi pondasi sebagai syarat agar tepenuhinya stabilitas pondasi akibat gaya yang diterima.

2.5.4 Macam-Macam Penampang *Dinding Geser*

Kategori penampang *Dinding Geser* bisa mengacu pada *ACI-SP-1 7M- 14: section 10.2.3; page-391*, yang mengkategorikan penampang shear menjadi 3, yaitu: *plane, flanged, dan channel*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 2. 19 Kategori penampang *Dinding Geser*.

pada Gambar 2.19 dapat dilihat penampang yang umum digunakan sebagai *Dinding Geser* pada struktur gedung bertingkat, baik sebagai individu ataupun *couple* (berpasangan). Ketebalan dimensi *Dinding Geser* umumnya diatur dalam

code (SNI 2847-2019) sebagai persyaratan desain minimum guna memastikan *workability* (kemudahan pelaksanaan) atau keamanan dari kebakaran. Selain itu, ketebalan *Dinding Geser* juga dipengaruhi oleh beban gempa yang terjadi sehingga pada kondisi tertentu, ketebalan *Dinding Geser* bisa bertambah guna memenuhi persyaratan desain atau kestabilan struktur *Dinding Geser*. Pada penampang *Dinding Geser*, terdapat bagian yang disebut *boundary element* (elemen batas) yang berupa penebalan pada ujung sisi *Dinding Geser*. Umumnya *boundary element* memiliki ketebalan lebih besar dari tebal *Dinding Geser*, meskipun pada kasus tertentu ketebalanya sama. Dilihat dari segi formasi tulangan, penulangan *boundary element* identik dengan penulangan pada elemen kolom yang terdiri dari tulangan utama (vertikal) dan tulangan geser (horizontal). *boundary element* pada *Dinding Geser* adalah:

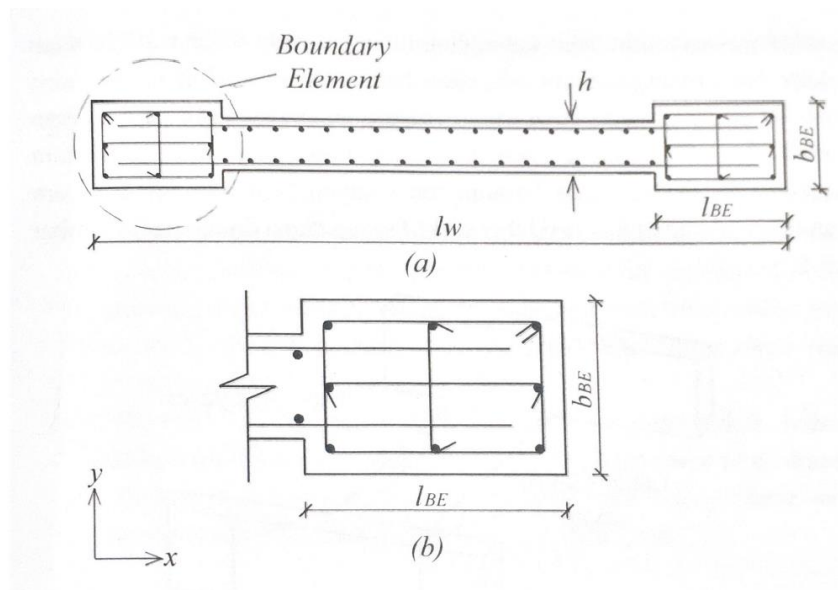
- a) memfasilitasi kelebihan tulangan yang terjadi pada tulangan longitudinal. Sehingga bila *space* pada badan (*body*) *Dinding Geser* tidak memungkinkan untuk menampung tulangan longitudinal dengan (tulangan vertikal) yang ada, maka kelebihan tulangan tersebut bisa dialokasikan/ditampung pada bagian *boundary element*.
- b) membantu menstabilkan *Dinding Geser* saat memikul momen yang cukup besar yang terjadi pada ujung sisi *Dinding Geser*.
- c) mencegah terjadinya *buckling* (fenomena tekuk) pada *Dinding Geser* khususnya bila ketebalan *Dinding Geser* tergolong tipis.

meskipun demikian, tidak semua elemen *Dinding Geser* perlu didesain *boundary element*. Bila mengacu pada *ACI-SP-17M-14; section 10.1: page-391*, penggunaan *boundary element* pada *Dinding Geser* hanya berlaku pada struktur dual system yang memiliki kategori desain seismik D,E&F atau yang tergolong struktur khusus. Dengan kata lain, untuk struktur yang tergolong kategori desain seismik A,B&C (SRPMB/ SRPMM), tidak diharuskan menggunakan *boundary element* pada struktur *Dinding Geser* yang digunakan. Atau dengan kalimat lebih sederhananya adalah *boundary element* hanya diwajibkan untuk dual system struktur khusus

(SRPMK). Hal ini dikarenakan, struktur yang tergolong kategori desain seismik D, E & F berada pada daerah dengan intensitas gempa yang tinggi. Sehingga elemen *Dinding Geser* membutuhkan elemen tambahan untuk menambah kekuatan yang berupa *boundary element*. Adapun salah satu contoh *boundary element* pada penampang Dinding Geser dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Adapun pasal SNI 28472-2019 yang bisa dijadikan rujukan guna desain Dinding Geser, berdasarkan kategori seismik adalah:

- a) Struktur dengan kategori desain seismik A,B&C didesain berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 11; Hal-224.
- b) Struktur dengan kategori desain seismik D,E&F didesain erdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 11; Hal-224 dan SNI 2019; Pasal 18.10; Hal-402.

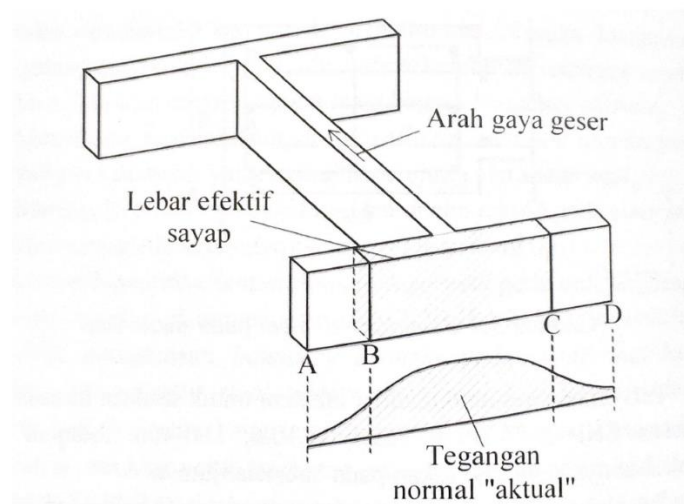


Gambar 2. 20 Boundary element pada Dinding Geser.

Persyaratan desain *boundary element* untuk struktur khusus diatur didalam SNI 2847-2019; Pasal 18.10.6; Hal-406. Adapun detail penjelasannya akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Selain *boundary element*, terdapat pula parameter penting terkait penampang pada struktur *Dinding Geser*, yaitu lebar efektif sayap (*effective flange width*). Tentunya ini hanya digunakan untuk penampang *Dinding Geser* yang

tergolong memiliki sayap termasuk penampang tipe *Channel*, seperti pada Gambar 3.3. Ditinjau dari segi pengertian, sayap pada Dinding Geser diartikan sebagai pertemuan dua sisi dari *Dinding Geser* yang membentuk sudut tegak lurus baik pada satu sisi (penampang L dan C) ataupun dua sisi (penampang T dan H). *Dinding Geser*, yang memiliki bagian berupa sayap, memiliki ketahanan gaya lateral yang baik dari dua arah sisinya sehingga sangat efektif dalam memikul gaya lateral dari berbagai arah. Saat menerima gaya lateral, bagian sayap ini akan mengalami kondisi tarik dan tekan akibat momen bolak-balik yang terjadi saat gempa berlangsung. Sehingga analisa lebar efektif sayap akan dipengaruhi kondisi tarik dan kondisi tekan.

Dalam proses analisa, lebar efektif sayap sangat penting dalam memaksimalkan kapasitas lentur dan aksial dari *Dinding Geser* serta sekaligus meminimalisir kebutuhan tulangan pada *Dinding Geser* atau lain, tulangan yang ada pada badan Dinding Geser akan terbat pengaruh dari lebar efektif sayap. Dikarenakan besarnya bar efektif sayap pada *Dinding Geser*, maka perlu ketelitian dalam proses desain sehingga besaran lebar sayap bisa ditentukan secara optimal. Adapun ilustrasi lebar efektif sayap dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Lebar efektif sayap pada struktur Dinding Geser.

Dalam menentukan besaran lebar efektif sayap, para ahli baik dari kalangan akademisi (code) ataupun praktisi memiliki perbedaan pendapat. Adapun rincian perbedaan dari dua pihak adalah sebagai berikut:

a) Pendapat akademisi

Pendapat dari kalangan akademisi diwakili melalui peraturan yang telah disusun yaitu UBC 1997, ACI 318, SEAOC dan SNI 2847-2019. Adapun detailnya adalah:

- *UBC 1997 section 1921.6.6.2* menyatakan bahwa lebar efektif sayap (diukur dari muka badan *Dinding Geser*) **tidak boleh** diambil lebih dari (1) setengah jarak badan *Dinding Geser* terdekat, atau (2) 5% dari total tinggi *Dinding Geser* untuk kondisi sayap tekan atau 30% dari total tinggi *Dinding Geser* untuk kondisi sayap tarik tidak melebihi dari panjang total dimensi
- *ACI 318-2014 section 18.10.5.2; page-295* menyatakan bahwa efektif sayap (diukur dari muka badan *Dinding Geser*) **harus** ditentukan nilai terkecil dari (1) setengah jarak badan *Dinding Geser* terdekat, atau (2) 25% dari total tinggi *Dinding Geser*
- *SEAOC blue book section 402, 10* menyatakan bahwa lebar efektif sayap (diukur dari muka badan *Dinding Geser*) harus diambil nilai yang terkecil dari (1) setengah jarak badan *Dinding Geser* terdekat, (2) panjang aktual dimensi sayap, (c) 15% dari total tinggi *Dinding Geser* untuk kondisi sayap tekan atau 50% dari total tinggi *Dinding Geser* untuk kondisi sayap tarik.
- *SNI 2847-2019; Pasal 18.10.5.2; Hal-405* menyatakan bahwa lebar efektif sayap yang diukur dari muka badan *Dinding Geser*, harus diambil nilai terkecil dari (1) setengah jarak badan *Dinding Geser* terdekat, atau (2) 25% dari total tinggi *Dinding Geser*.

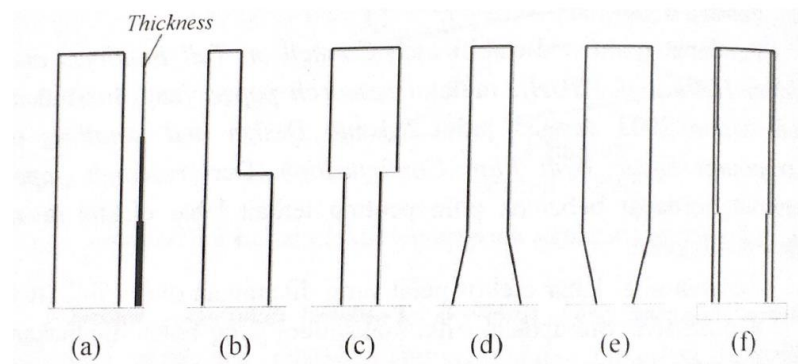
b. Pendapat praktisi

Pendapat praktisi diwakili oleh *Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)*, melalui *research paper* yang diterbitkan pada tahun 2003 dengan judul *Seismic Design and Detailing of Compound Dinding Geser Plan Configuration*. Dari *research paper* tersebut, terdapat beberapa poin penting terkait lebar efektif sayap Dinding Geser, yaitu: Besaran nilai lebar efektif pelat yang ditentukan oleh UBC, ACI, dan SEAOC merupakan nilai maksimum yang boleh digunakan, bukan nilai yang disyaratkan. Pengertian "total tinggi Dinding Geser" bukan tinggi keseluruhan struktur Dinding Geser. Namun yang dimaksud adalah tinggi total yang berada diatas Dinding Geser yang ditinjau. Sehingga besaran nilai tersebut tergantung dari posisi/level/tingkat Dinding Geser yang ditinjau. Pada *research paper* tersebut juga disebutkan bahwa bila dalam perencanaan *high rise building* menggunakan pedoman yang dikeluarkan UBC, ACI dan SEAOC, hasil yang diperoleh terkait lebar efektif sayap selalu berlebihan (*excessive*) dan tidak bisa diaplikasikan (*impractical*), khususnya bila yang ditinjau adalah Dinding Geser paling dasar. Selain itu akan dihasilkan desain Dinding Geser yang *heavily reinforced Dinding Geser* (struktur Dinding Geser dengan tulangan yang sangat banyak). Sehingga disarankan untuk para *engineer* berhati-hati dalam menentukan lebar efektif sayap yang akan digunakan dalam perhitungan desain Dinding Geser.

Pada karangan Yudha Lesmana yang berjudul *Analisa & Desain Shear Wall*, pedoman analisa lebar efektif sayap akan mengacu *research paper* yang diterbitkan CTBUH. Sehingga lebar efektif sayap yang diatur dalam SN1 2847-2019 0.5.2; Hal-405, dianggap sebagai batasan maksimal yang digunakan. Penjelasan detail akan dijelaskan pada bab selanjutnya

2.5.5 Variasi Dinding Geser Arah Vertikal

variasi arah vertikal merupakan salah satu aspek yang dipertimbangkan dalam perencanaan struktur Dinding Geser. Adapun macam-macam variasi Dinding Geser pada arah vertikal dapat dilihat seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Variasi penampang *Dinding Geser* arah vertikal.

Adanya variasi arah vertikal pada *Dinding Geser* dikarenakan adanya pertimbangan pola gaya & momen yang bervariasi disepanjang tinggi *Dinding Geser*, yang dimana gaya/momen pada dasar memiliki nilai terbesar kemudian mengecil seiring bertambahnya tinggi *Dinding Geser*. Dengan demikian, penampang *Dinding Geser* pada tiap level lantai bisa berbeda-beda dikarenakan gaya/momen yang dipikul juga bervariasi. yang dilakukan bisa dalam bentuk pengurangan tebal sh atau pengurangan lebar *Dinding Geser*.

Pada Gambar 2. 22 (a) & (f) dapat dilihat *Dinding Geser* dengan penampang persegi memiliki lebar *Dinding Geser* konstant dari dasar hingga puncak. Variasi yang dilakukan adalah pada ketebala *wall*, baik pada bagian badan ataupun sayap, yang digunakan pada ngkat tertentu. Pada tingkat dasar, ketebalan yang digunakan paling tebal dibandingkan tingkat lainnya. Hal ini mengingat bahwa level paling dasar ini adalah yang paling besar menerima momen dan gaya sehingga membutuhkan luasan penampang yang besar. Kemudian seiring bertambahnya ketinggian *Dinding Geser*, maka gaya dan yang diterima *Dinding Geser* juga berkurang, sehingga efisiensi dalam hal pengurangan penampang bisa dilakukan dengan salah satu caranya ialah mengurangi ketebalan. Pilihan dengan mengurangi ketebalan merupakan hal yang paling umum diambil para *engineer* dalam mendesain *Dinding Geser* dengan variasi vertikal. Terdapat pula kasus yang lebih khusus seperti yang terlihat pada Gambar 2.22 (b) - (e), yang dimana variasi arah vertikal berupa reduksi dari aspek panjang/lebar

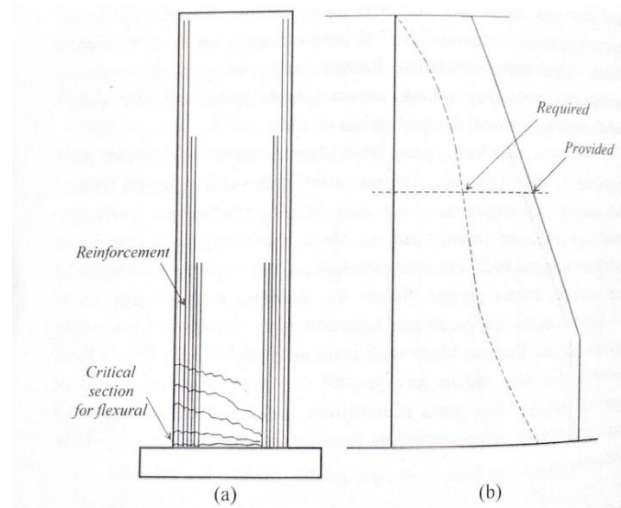
Dinding Geser, baik tipe beraturan (*gradually*) atau tipe *tapered* (mengkerucut). *Dinding Geser* dengan tipe ini harus didesain dengan baik, khususnya terkait potensi terjadinya sendi plastis saat terjadi beban gempa. Selain itu, *detailing* tulangan juga harus dilakukan demi menyediakan kekuatan yang cukup saat menerima beban lateral. Bentuk *Dinding Geser* jenis ini mungkin saja diwujudkan, terlebih lagi bila mejadi persyaratan dari segi arsitektural struktur gedung. Hanya saja perlu diperhatikan efektifitas dalam kontribusi memikul beban gempa sehingga diperoleh struktur dual system yang optimal.

2.5.6 Slender Wall Dan Squat Wall

Terdapat dua jenis Dinding Geser bila ditinjau dari aspek rasio tinggi dan lebar (h/w), yaitu *slender wall* dan *squat wall*. Ciri khas dari kedua jenis *Dinding Geser* tersebut adalah *slender wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih besar dari dua ($h/w \geq 2,0$), sedangkan untuk *squat wall* memiliki perbandingan antara tinggi dan panjang lebih kecil dari dua ($h/w < 2,0$). Dengan perbedaan tersebut, tentunya dari segi perilaku keduanya memiliki perilaku yang sangat berbeda saat memikul beban lateral. Adapun penjelasan detailnya adalah sebagai berikut:

2.5.6.1 Dinding Geser tipe slender wall

Struktur *Dinding Geser* dengan tipe *slender wall* umumnya digunakan pada struktur gedung *medium* dan *high rise building*. Sehingga secara geometri, penampang *Dinding Geser* tergolong langsing (*slender*) dengan rasio $h/w \geq 2,0$. Struktur *Dinding Geser* tipe *slender* cenderung untuk berperilaku seperti kantilever. Perilaku *inelastic* dari *slender wall* berupa *ductile flexural yielding* yaitu berupa sendi plastis yang muncul pada bagian dasar struktur *Dinding Geser* saat terjadi beban gempa, seperti yang terlihat pada Gambar 2. 23.



Gambar 2. 23 Perilaku *Dinding Geser* tipe *slender*;

(a). *Wall elevation*; (b). *Moment*.

Gambar 2. 23 dapat dilihat pola kerusakan *Dinding Geser* kerusakan akibat momen lentur yang besar pada bagian dasar perilaku tersebut akan terjadi bila struktur menerima beban gempa besar, sedangkan bila beban gempa tergolong kecil maka struktur akan perilaku elastis tanpa adanya kerusakan yang berarti. berperilaku *ductile flexural yielding* pada bagian dasarnya, *engineer* harus menyediakan distribusi kekuatan disepanjang tinggi *slender wall*.

2.5.6.1 *Dinding Geser* tipe *squat wall*

Struktur *Dinding Geser* dengan tipe *squat wall* umumnya digunakan pada struktur gedung *low-rise building*, dengan rasio penampang antara tinggi dan lebar sebesar $h_w/l_w < 2,0$. Struktur *Dinding Geser* tipe *squat wall* cenderung memiliki kekuatan lentur yang tinggi (kaku terhadap lentur), namun lemah terhadap gaya geser. Sehingga *squat wall* lebih rentan terhadap perilaku *inelastic* akibat geser dari pada akibat lentur.

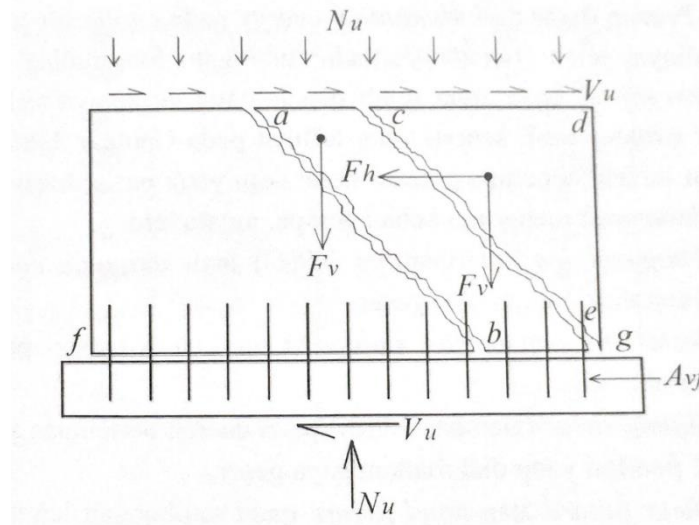
Terdapat dua jenis tipe kegagalan akibat geser yang mungkin terjadi pada *squat wall*, yaitu *shear yielding* dan *shear sliding*, seperti pada Gambar 3.8. Fenomena *shear yielding* terjadi pada badan (*web*) *squat wall* dengan ditandai terbentuknya retak

miring, seperti yang terlihat pada Gambar 3.8. Persamaan gaya horizontal dari segmen CDE membutuhkan distribusi tulangan horizontal untuk menahan gaya F_h . Sedangkan persamaan momen pada segmen CDE membutuhkan distribusi tulangan vertikal untuk menahan gaya F_v . Dengan adanya fenomena tersebut, *ACI 318* menyaratkan tulangan vertikal dan horizontal harus dipasang pada struktur *squat wall*. Lain halnya dengan fenomena *shear sliding* yang cenderung terjadi pada *construction joints* termasuk pada daerah pertemuan antara *wall* dan pondasi. Gaya aksial N_u dan distribusi tulangan vertikal A_{vf} yang terlihat pada Gambar 3.8, berperan dalam menyediakan *clamping force* (gaya jepit) disepanjang bidang pertemuan sehingga menahan terjadinya *sliding*. Secara teori, tulangan vertikal A_{vf} lebih efektif bila dipasang dengan sudut $+ 45^\circ$. Namun dikarenakan dari segi pelaksanaan dinilai menyulitkan, maka posisi tulangan dipasang tegak lurus terhadap pondasi, seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.

Dalam proses pengecoran struktur *squat wall*, *ACI 318* menyaratkan agar permukaan beton struktur pondasi (yang telah mengeras terlebih dahulu) harus bersih dan diberi tekstur kasar. Hal ini dilakukan agar menambah tahanan geser akibat fenomena *shear sliding* pada struktur *squat wall*.

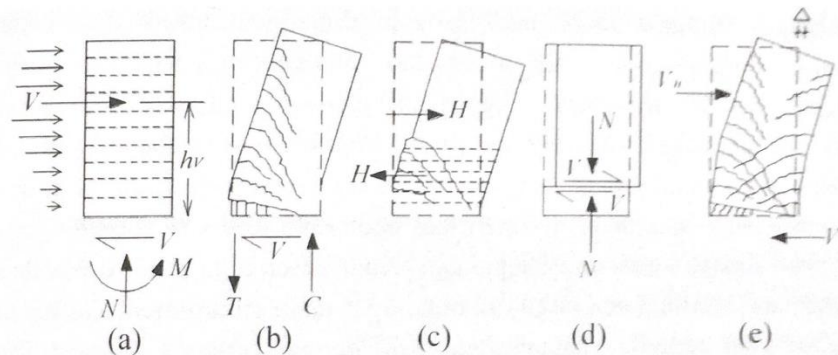
2.5.7 Pola Kerusakan Pada Dinding Geser

Seperti yang telah dijelaskan diawal bahwa struktur *Dinding Geser* yang didesain harus memiliki perilaku *ductile* (daktail) saat menerima beban lateral berupa gempa. Perilaku daktail ditunjukkan dengan



Gambar 2. 24 Fenomena *shear yielding* dan *shear sliding* pada *squat wall*.

adanya fenomena *flexural yielding* pada daerah yang didesain sebagai sendi plastis yang umumnya berada pada dasar *Dinding Geser*. Munculnya *flexural yielding* pada daerah sendi plastis harus berperan dalam mengontrol kekuatan, deformasi *inelastic* dan mekanisme penyerapan energi (*dissipation energy*) pada keseluruhan struktur *dual system*. Keruntuhan getas (*brittle failure*) atau bahkan *limited ductility* tidak diperkenankan terjadi pada struktur *Dinding Geser* saat terjadi beban gempa. Dikarenakan hal tersebut merupakan persyaratan dasar dari sebuah struktur agar konsep desain kapasitas (*capacity design*) bisa terpenuhi sehingga tercipta struktur yang daktail. Adapun pola kerusakan yang terjadi pada *Dinding Geser* dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.25 Pola kerusakan pada *cantilever walls*.

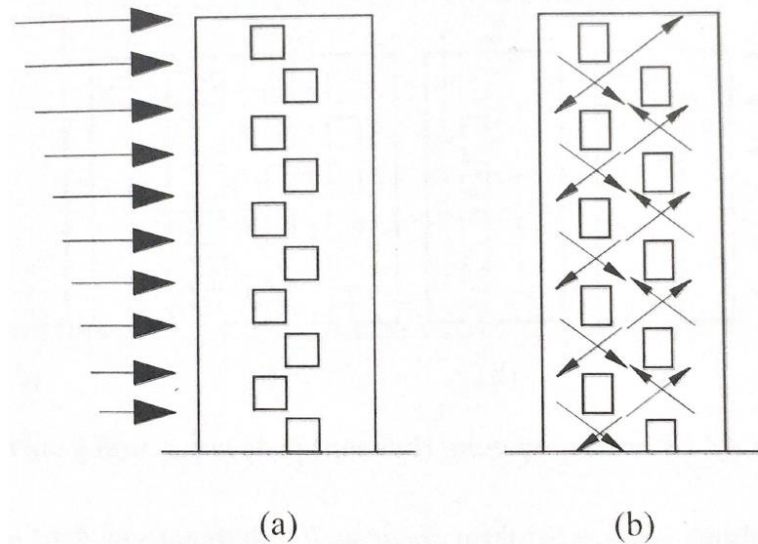
prinsip dasar dari *dissipation energy* pada *cantilever wall* terjadinya leleh (*yielding*) pada tulangan longitudinal (*flex reinforcement*) pada zona sendi plastis yang umumnya terletak dasar *struktur wall*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.9(b) dan (e). Selain itu ada beberapa potensi kerusakan yang perlu diwaspadai saat *cantilever wall* menerima beban gempa, antara lain

- *Diagonal tension* (Gambar 2.25 (c)) atau diagonal compression yang diakibatkan oleh geser.
- *Instability* penampang *thin wall* yang diakibatkan penampang terlalu tipis.
- *Sliding shear* (Gambar 2.25 (d)) pada daerah pertemuan *Dinding Geser &* pondasi yang diakibatkan gaya geser.
- *Shear failure* atau *bond failure* pada sambungan lewatan antara tulangan vertikal *wall* dengan tulangan yang diangkur pada pondasi.

Dengan adanya pola kerusakan tersebut, SNI 2847-2019 (yang mengacu pada ACI 318) mensyaratkan penggunaan tulangan pada struktur *Dinding Geser* yang berupa tulangan longitudinal (tulangan vertikal) untuk menecegah keruntuhan akibat lentur dan tulangan transversal (tulangan horizontal) guna mencegah keruntuhan akibat geser. Dengan demikian, diharapkan pola keruntuhan seperti yang ada pada Gambar 2.25, tidak akan terjadi saat terjadi beban gempa.

2.5.8 Dinding Geser Structure With Opening

Fenomena opening atau "bukaan" pada *Dinding Geser* merupakan suatu hal yang umum terjadi pada konstruksi struktur *dual system*. Hal tersebut guna mengakomodir kebutuhan akan jendela atau pintu sehingga dimensi *Dinding Geser* sengaja difasilitasi untuk disediakan bukaan (*opening*). Dalam melakukan pengaturan (*arrange*) posisi *opening* pada *Dinding Geser*, sangat penting untuk memastikan kekuatan dari penampang *Dinding Geser* agar tetap kuat memikul beban aksial dan lentur. Hal ini dikarenakan adanya reduksi luasan (*gross reduction*) dari penampang *Dinding Geser*, terlebih lagi pada area tepi sisi *opening* yang rawan adanya konsentrasi tegangan. Kuat geser juga perlu dipastikan arah vertikal ataupun horizontal agar tetap cukup memikul beban geser yang terjadi. Adapun *Dinding Geser* dengan *opening* dapat dilihat pada Gambar 2.26.

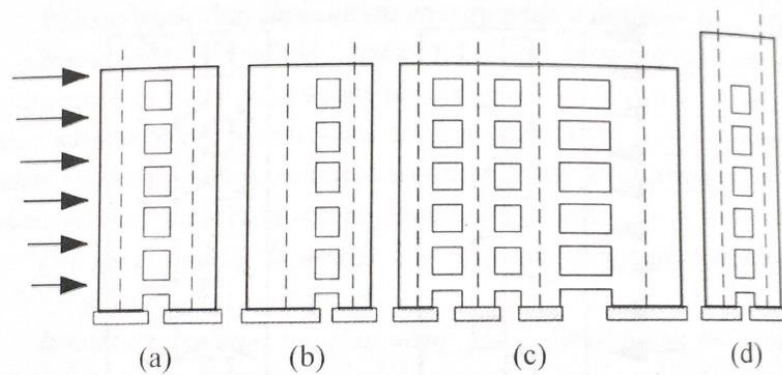


Gambar 2. 26 Dinding Geser Dengan Bukaan.

Pada Gambar 2. 26(a) dapat dilihat contoh *arrangement* posisi *opening* yang kurang ideal pada *Dinding Geser*. Hal ini dikarenakan terbentuknya "garis perlemah" disetinggi penampang *Dinding Geser* akibat posisi *opening* saling berhimpit meski beda elevasi. Kondisi tersebut sangat sulit untuk memastikan kebutuhan daktilitas dan

kerusakan saat terjadi gempa. Sehingga bentuk pengaturan tersebut sangat dihindari. Posisi *opening* bisa diatur dengan jarak tertentu sehingga tidak terbentuk "garis lemah" disepanjang tinggi *Dinding Geser*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.10(b). Posisi *opening* pada Gambar 3.10(b) dikenal dengan istilah pola *staggered* (selang-seling) disetiap level lantai. Dalam kondisi tersebut, terdapat luasan diantara *opening* yang memungkinkan terjadinya mekanisme diagonal *compression* atau diagonal *tension* pada *Dinding Geser* saat menerima beban lateral berupa gempa. Dengan sistem penulangan yang baik (mungkin dengan tulangan diagonal), maka konsentrasi tegangan pada sisi tepi bukaan akibat geser dapat dihindari dan respon daktail akibat *flexural yielding* pada dasar dapat terpenuhi saat terjadi beban gempa.

Adapun formasi *opening* pada *Dinding Geser* yang direkomendasikan dan umum digunakan adalah seperti pada Gambar 2. 26. Formasi tersebut disusun secara teratur dan rasional sehingga dinilai sangat efektif untuk memperoleh struktur daktail dengan memberikan mekanisme penyerapan energi (*dissipation energy*) yang sangat baik

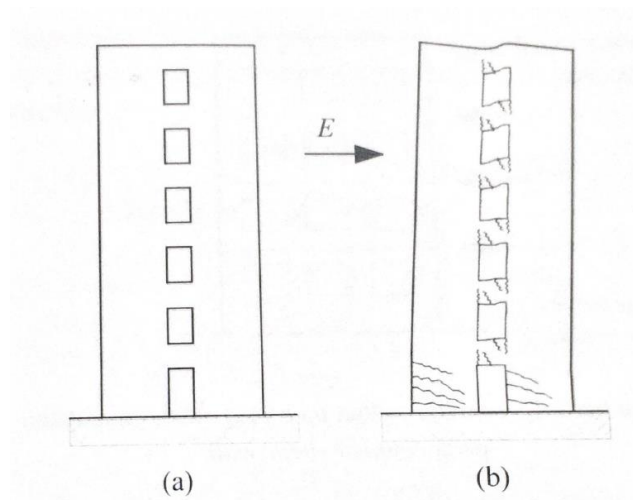


Gambar 2. 27 Formasi opening (bukaan) pada Dinding Geser yang ideal.

saat terjadinya gempa. Struktur *Dinding Geser* terhubung satu dengan yang lainnya melalui *connecting beams*, sehingga seolah-olah tercipta struktur *Dinding Geser* yang saling berpasangan atau dikenal dengan istilah *coupled Dinding Geser*. *Connecting beams* disini dikenal dengan istilah *coupling beam*.

Dua struktur *Dinding Geser* yang memiliki kekakuan sama (Gambar 2. 27 (a)) atau yang memiliki kekakuan berbeda (Gambar 2. 27(b)), memungkinkan untuk berpasangan dengan sistem *single line* dari *coupling beam*. Dan pada kasus tertentu bisa melibatkan lebih dari dua struktur *Dinding Geser* dengan rangkaian *coupling beam* disetiap level ngkatnya, seperti pada Gambar 2. 27(c). Bila struktur *coupled Dinding Geser* berupa *core*, struktur *Dinding Geser* umumnya diteruskan hingga melebihi level atap struktur guna memberikan ruang untuk mesin lift, seperti pada Gambar 2. 27(d). Pada kondisi seperti itu, diafragma pada lantai atap harus diperhitungkan memiliki kekakuan yang tak terbatas yang memberikan kekangan pada *couple Dinding Geser* saat terjadi gempa.

Perilaku dari *coupled Dinding Geser* saat terjadi gempa akan berperilaku seperti pasangan kantilever yang saling bekerja sama engan memberikan pengaruh rotasi yang cukup besar pada *coupling beam*. Sehingga mekanisme *dissipation energy* yang terjadi pada struktur jenis ini adalah munculnya sendi plastis pada bagian d ya *coupling beam*. Dengan kata lain, sendi plastis pada *coupled Dinding Geser* terjadi didua bagian yaitu bagian dasar *Dinding Geser* dan pada elemen *coupling beam*, seperti yang terlihat pada 2. 28.

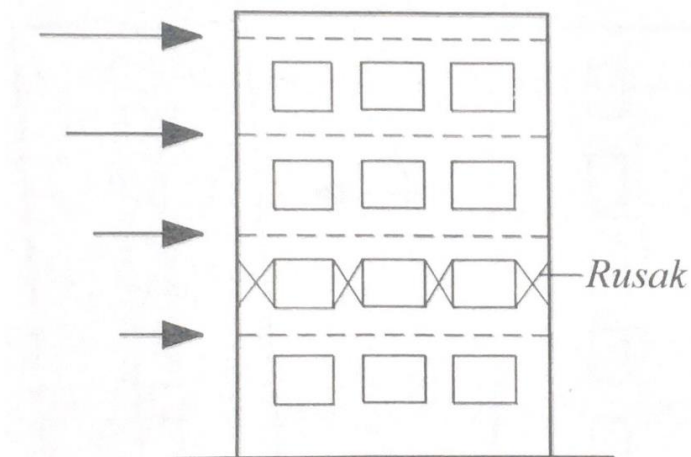


Gambar 2. 28 Mekanisme dissipation energy pada struktur coupled Dinding Geser.

2.5.9 Coupling Beam Pada Coupled Wall

Coupling beam pada struktur *coupled Dinding Geser* cenderung memiliki dimensi panjang yang relatif pendek (seukuran jarak antar *Dinding Geser*) dan memiliki tinggi penampang yang tergolong tinggi (*deep*). Secara substansi, *coupling beam* didesain lebih lemah dari pada struktur *Dinding Geser* agar mekanisme *dissipation energy* terjadi pada *coupling beam*. Dengan kata lain, *coupling beam* memang sengaja "dikorbankan" guna menjaga struktur *Dinding Geser* tetap aman selama beban gempa. Bila desain dari *coupling beam* lebih kuat dari *Dinding Geser*, maka mekanisme keruntuhan yang direncanakan tidak akan tercapai dan akan berdampak fatal dengan kemungkinan rusaknya struktur *Dinding Geser* saat terjadi gempa, seperti yang terlihat pada Gambar 2. 29.

Pada Gambar 2. 29 terlihat saat gedung menerima beban lateral gempa, *coupling beam* tidak mengalami leleh sehingga menyebabkan bagian dari *Dinding Geser* mengalami kegagalan geser dengan mekanisme *dissipation energy* yang buruk. Bila kondisi tersebut tetap dil *coupling beam* didesain terlalu kuat dibandingkan *Dinding Geser*) perencanaan dilakukan berdasarkan konsep kapasitas (*design capacity*), gaya geser yang bekerja pada bagian *Dinding Geser* (dikenal dengan istilah *pier*) akan sangat besar melebihi kapasitas desain seharusnya. Dan

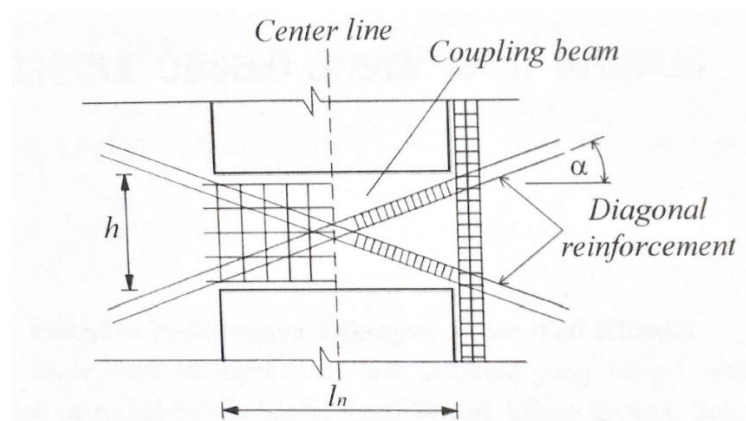


Gambar 2. 29 Pola kerusakan pier yang tidak diharapkan pada coupled Dinding Geser.

kebutuhan daktilitas struktur *pier* juga meningkat dari yang direncanakan. Dengan demikian, kondisi seperti ini harus dihindari dalam desain *coupled Dinding Geser* pada struktur *dual system*. Dengan kata lain, keberadaan *coupling beam* pada *coupled Dinding Geser* adalah sebagai "alat peredam" tambahan untuk meredam energi gempa yang masuk pada *Dinding Geser* dan harus didesain lebih lemah dibandingkan *Dinding Geser*.

Bila mengacu pada SNI 2847-2019 (*ACI 318*), *coupling beam* dikategorikan menjadi tiga, berdasarkan aspek ratio (I_n/h) dan shear demand, yaitu:

- a) *Coupling beam* dengan $I_n/h \geq 4$ Dalam perencanaan *coupling beam* tipe ini, perencanaan harus memenuhi segala persyaratan yang umumnya digunakan pada balok, khususnya balok SRPMK (bila struktur termasuk tipe khusus). Tipe *coupling beam* ini dinilai memiliki ketinggian penampang yang terlalu kecil sehingga kurang efektif bila digunakan tulangan longitudinal seperti yang umumnya digunakan pada *deep beam*.
- b) *Coupling beam* dengan $I_n/h < 2$ dan $V_u > 4\lambda\sqrt{f_c'} \cdot A_{cw}$ Tipe *coupling beam* yang disyaratkan harus menggunakan tulangan diagonal yang simetris terhadap garis tengah *coupling beam*, seperti pada Gambar 2. 30. Tipe *coupling beam* ini menghindari tinggi penampang sangat tinggi sehingga memungkinkan untuk dipasang tulangan diagonal. Tulangan diagonal bisa diabaikan bila dapat dipastikan bahwa kekakuan dan kekuatan *dari coupling beam* tidak akan mempengaruhi kemampuan memikul gaya vertikal struktur *coupling beam*.

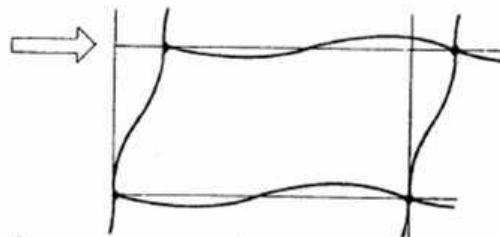


Gambar 2. 30 Tulangan diagonal struktur coupling beam.

2.5.10 Perilaku Struktur Rangka Kaku, Dinding Geser, dan Struktur Rangka Dinding Geser

2.5.10.1 Perilaku Struktur Rangka Kaku (Rigid Frame)

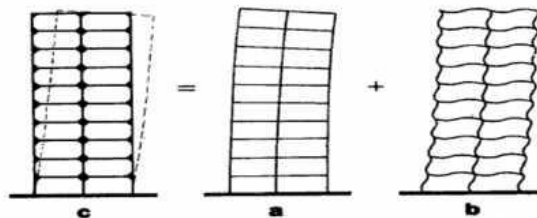
Sistem rangka kaku atau rigid frame biasanya berbentuk rangka segi empat teratur yang terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang terhubung pada suatu bidang secara kaku (rigid), sehingga pertemuan antara kolom dan balok dapat menahan momen. Pada dasarnya rangka kaku akan ekonomis digunakan sampai 30 lantai untuk rangka baja dan sampai 20 lantai untuk rangka beton bertulang (Schueller, 1989). Karena sifat hubungan yang kontinuitas antara kolom dan balok, maka mekanisme rangka kaku dalam menahan beban lateral merupakan suatu respons bersama dari balok dan kolom, terutama respons melalui lentur dari kedua jenis elemen tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2. 31 Respons Lenturan Portal (Schueller,1989).

Schueller (1989) menjelaskan bahwa lendutan lateral yang terjadi pada balok dan kolom pada struktur rangka kaku disebabkan oleh dua hal, yaitu:

- a. Lendutan disebabkan oleh lentur kantilever. Lenturan ini dikenal sebagai *chord drift*, yaitu dimana saat menahan momen guling (*overturning moment*) akibat beban lateral, struktur rangka beraksi sebagai suatu balok kantilever vertikal yang melentur dalam bentuk deformasi aksial dari kolom-kolom penyusunnya. Lentur kantilever ini kira-kira menyumbangkan 20% dari total simpangan struktur.
- b. Deflaksi karena lentur balok dan kolom. Perilaku struktur akibat lentur balok dan kolom dikenal sebagai *shear lag* atau *frame wracking*. Adanya gaya geser yang terjadi pada kolom dan balok akan menimbulkan momen lentur pada kedua elemen tersebut. Lenturan pada kolom dan balok menyebabkan terjadi distorsi secara keseluruhan pada rangka gedung. Tipe deformasi ini menyebabkan $\pm 80\%$ dari total simpangan struktur yang terdiri dari 65% akibat lenturan balok dan 15% akibat lenturan kolom.



Gambar 2. 32 Simpangan Pada Struktur Rangka Kaku (Schueller,1989).

Pada Gambar 2. 32 menunjukkan suatu struktur rangka kaku yang menerima gaya lateral akan mengalami simpangan ke arah beban yang bekerja (Gambar 2. 32 c), yang merupakan kombinasi simpangan yang diakibatkan oleh lentur kantilever (Gambar 2. 32 a) sebesar 20% dari total keseluruhan simpangan dan lentur balok dan kolom (Gambar 2. 32 b) sebesar 80% dari total keseluruhan simpangan (Schueller, 1989).

2.5.10.2 Perilaku Dinding Geser (*Shearwall/Cantilever Wall*)

Dinding geser merupakan suatu subsistem gedung yang memiliki fungsi utama untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa. Keruntuhan pada dinding geser disebabkan oleh momen lentur karena terjadinya sendi plastis pada kaki dinding.

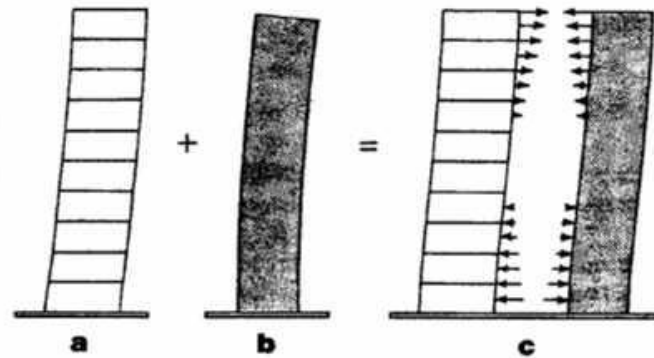
Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral akan semakin besar, untuk itu sering digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi untuk memperkaku struktur sehingga simpangan yang terjadi dapat berkurang. Dinding geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat dibuat seefisien mungkin pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral.

Gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung, baik diakibatkan oleh beban gempa maupun angin akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser karena memiliki kekakuan yang besar untuk menahan gaya lateral (Shueller, 1989). Dinding geser dapat dianggap sebagai balok yang tebal karena kekakuannya dan berinteraksi terhadap gaya lateral serta lentur terhadap momen guling (*overtuning momen*). Kemampuan dinding geser dalam menahan gaya lateral, torsi, dan momen guling tergantung dari konfigurasi geometri, orientasi, dan lokasi dinding geser pada suatu bangunan.

2.5.10.3 Perilaku Struktur Rangka-Dinding Geser (*Dual System*)

Semakin tinggi suatu gedung, penggunaan struktur rangka saja untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa menjadi kurang ekonomis karena akan menyebabkan dimensi struktur balok dan kolom yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menahan gaya lateral. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara 9 rangka kaku dengan dinding geser (*dual system*). Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku (*rigid*) oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan yang *rigid* antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku-dinding geser

diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada gambar 2.6.

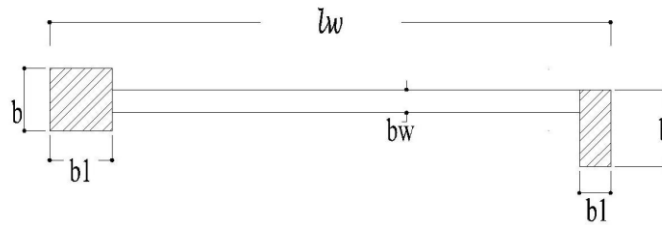


Gambar 2. 33 Superimpos Mode Individu dari Deformasi (Schueller,1989).

- Deformasi *mode* geser untuk rangka kaku (Gambar 2. 33a) Pada struktur rangka kaku, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada dasar struktur dimana terjadi geser maksimum.
- Deformasi mode lentur untuk dinding geser (Gambar 2. 33b) Pada struktur dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan.
- Interaksi antara rangka kaku dan dinding geser (Gambar 2. 33c) 10 Interaksi antara struktur rangka kaku dan dinding geser diperoleh dengan membuat superposisi *mode* s defleksi terpisah yang menghasilkan kurva S datar. Perbedaan sifat defleksi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser dibagian bawah bangunan.

2.5.11 Pendimensian Dinding Geser

Berdasarkan T. Paulay dan M. J. N Priestley(2013) dalam bukunya yang berjudul “*Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansonry Buildings*”, dimensi dinding geser harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:



Gambar 2. 34 Parameter Mnimum Dimensi Dinding Geser (Paulay dan Priestley,2013)

$$\text{Tebal dinding geser } (b_w) \geq \frac{1}{16} h_w$$

$$\text{Tebal dinding geser } (b_w) \geq \frac{1}{25} l_w$$

$$b \geq b_w ; b_1 \geq \frac{b_c \cdot l_w}{10b}$$

$$b \geq b_w ; b_1 \geq \frac{b_c^2}{b}$$

$$b \geq \frac{1}{16} h_i ; b_1 \geq \frac{1}{16} h_1$$

dimana :

$$b_c = 0,0171 \cdot l_w \cdot \sqrt{\mu_\phi}$$

$$\mu_\phi = \text{rasio daktilitas kurva} = 5.$$

$$b_w = \text{Tebal dinding geser.}$$

$$h_i = \text{Tinggi lantai ke-i.}$$

$$h_w = \text{Tinggi dinding peringkat.}$$

$$l_w = \text{Lebar bagian dinding.}$$

2.5.5 Perhitungan Tulangan Pada Dinding Geser

Langkah-langkah perhitungan tulangan pada dinding geser :

- (a) Tentukan baja tulangan longitudinal dan transversal minimum yang diperlukan. Periksa apakah dibutuhkan dua layer tulangan. Jika gaya geser terfaktor (V_u) melebihi kuat dinding geser beton yang ada (V_u ada) maka harus digunakan dua layer.

$$V_u > V_u \text{ ada} = 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

Rasio distribusi tulangan minimum $\rho = 0,0025$ dan spasi maksimum 45 cm

- (b) Tentukan baja tulangan yang diperlukan untuk menahan geser. Kuat geser dinding geser (*Shear Wall*) yang direncanakan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V_n \leq A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

dimana koefisien α_c adalah 0,25 untuk $hw/\ell w \leq 1,5$; 0,17 untuk $hw/\ell w \geq 2,0$, dan bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk $hw/\ell w$ antara 1,5 dan 2,0.

2.5.12 Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Simpangan antar lantai adalah pergeseran posisi (defleksi) antara pusat massa sebuah lantai dengan lantai yang berada di atas atau di bawahnya akibat dari penyerapan beban yang dialami oleh struktur. Berdasarkan SNI 1726-2019, simpangan antar lantai hanya ada kinerja batas ultimate saja tanpa mempertimbangkan kinerja batas layannya. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Berdasarkan SNI 1726-2019, Simpangan antar lantai ini tidak boleh melebihi dari batas-batas yang ditentukan. Untuk semua struktur lainnya yang termasuk dalam kategori resiko gedung I dan II, batas simpangan antar lantai ultimitnya (Δ_a) tidak boleh melebihi dari $0,020 h_{sx}$.

$$\Delta \leq \Delta_a$$

Tujuan dari pemberian batasan ini adalah agar struktur tidak terlalu kaku (Rigid) dan tidak terlalu melentur. Struktur yang terlalu kaku tidak memberikan adanya tanda-tanda kerusakan struktur dan struktur yang terlalu melentur memberikan efek yang tidak nyaman pada penghuni.

2.6 Fondasi

Daya dukung tiang pancang fondasi mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan kapasitas tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Mayerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang pancang dengan menggunakan data SPT sebagai berikut:

$$Q_u = 40N_b A_p + 0,2 N A_s$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung ultimit tiang pancang (ton)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)

N = Harga N-SPT rata-rata

A_s = Luas Penampang Selimut tiang (m^2)

Besarnya daya dukung ultimit untuk satu tiang dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$$

Dengan :

$$SF = \text{Safety Factor} = 2,5$$

Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan rumus *Converse – Labarre*:

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

Dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = Jumlah tiang setiap deret

m = Jumlah deret tiang

θ = Arc tan (D/S)

D = Diameter tiang (m)

S = Jarak antar tiang (m)

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan ketentuan berikut:

$$2,5D \leq S \leq 3,5D$$

Sedangkan jarak tiang ke tepi fondasi dibatasi dengan : $1,25D \leq S \leq 1,5D$