

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Bangunan Gedung dan Klasifikasi**

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung (2002), “bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus”.

Klasifikasi bangunan gedung menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 2005 Tentang Pelaksanaan Undang-Undang No.28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung (2005), dibagi atas tingkat kompleksitas, tingkat permanensi, tingkat risiko kebakaran, zonasi gempa, lokasi, ketinggian, dan kepemilikan.

1. Klasifikasi berdasarkan tingkat kompleksitas meliputi bangunan gedung sederhana (karakter sederhana, teknologi sederhana, dan jaminan kegagalan 10 tahun), bangunan gedung tidak sederhana (karakter tidak sederhana, teknologi tidak sederhana, dan jaminan kegagalan minimal 10 tahun), dan bangunan gedung khusus (penggunaan khusus, persyaratan khusus, teknologi khusus, dan jaminan kegagalan minimal 10 tahun).
2. Klasifikasi berdasarkan tingkat permanensi meliputi bangunan gedung permanen (umur layanan diatas 20 tahun), bangunan gedung semi permanen (umur layanan 5 sampai dengan 10 tahun), dan bangunan gedung darurat/sementara (umur layanan sampai dengan 5 tahun).
3. Klasifikasi berdasarkan tingkat risiko kebakaran meliputi bangunan gedung tingkat risiko kebakaran tinggi, tingkat risiko kebakaran sedang, dan tingkat risiko kebakaran rendah.
4. Klasifikasi berdasarkan zonasi gempa meliputi peta gempa Indonesia yang terbaru yaitu menggunakan parameter-parameter.

5. Klasifikasi berdasarkan lokasi meliputi bangunan gedung di lokasi padat (pusat kota), bangunan gedung di lokasi sedang (pemukiman), dan bangunan gedung di lokasi renggang (pinggiran kota).
6. Klasifikasi berdasarkan ketinggian meliputi bangunan gedung bertingkat tinggi (lebih dari 8 lantai), bangunan gedung bertingkat menengah (5 sampai dengan 8 lantai), dan bangunan gedung bertingkat rendah (sampai dengan 4 lantai).
7. Klasifikasi berdasarkan kepemilikan meliputi bangunan gedung milik negara, bangunan gedung milik badan usaha, dan bangunan gedung milik perorangan.

## **2.2. Gempa Bumi dan Bangunan Tahan Gempa**

Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang disebabkan oleh peristiwa alam maupun kegiatan manusia. Akibat dari kedua hal tersebut tanah menjadi bergetar akibat efek dari menjalarnya gelombang energi yang memancar dari pusat gempa. Energi yang memancar dari gempa adalah akibat dari peristiwa mekanik (tumbukan, gesekan, tarikan) ataupun peristiwa khemis (ledakan akibat peristiwa reaksi kimia), energi yang terjadi akibat peristiwa-peristiwa tersebut menyebar kesegala arah pada media tanah (Pujianto, 2007).

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahan lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan akan dipancarkan ke segala arah yang berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2014).

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu menahan beban gempa rencana tanpa mengalami kerusakan berlebihan atau tidak roboh akibat gempa tersebut (Sulendra, 2010). Kemudian, menurut Simanjuntak (2020), bangunan tahan gempa adalah kebutuhan mutlak bagi masyarakat Indonesia karena termasuk rawan resiko gempa. Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan (Zain dkk., 2019). Struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak

rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa (Rendra dkk, 2015).

Berdasarkan SNI 1726:2002, tujuan perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah untuk menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat, membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang sehingga masih dapat diperbaiki, membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang, dan mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung. Kemudian, menurut Sulendra (2010), tujuan dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah menghindari adanya korban jiwa yang disebabkan oleh runtuhnya bangunan pada saat terjadinya gempa dan mengurangi korban luka-luka dan kerusakan bangunan yang disebabkan oleh gempa.

Berdasarkan Pedoman Teknis Bangunan Tahan Gempa (2006), suatu bangunan dapat dikatakan tahan gempa apabila memenuhi konsep bangunan tahan gempa sebagai berikut:

1. Gempa Ringan

Pada gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dsb);

2. Gempa Sedang

Pada gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh rusak;

3. Gempa Besar

Pada gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar atau mengungsi ketempat aman.

### **2.3. Standar Perencanaan**

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa pedoman perencanaan yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019);
2. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2002);
3. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2002);
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019);
5. Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (RSNI 1727:2018).

### **2.4. Elemen Struktur**

Setiap struktur bangunan direncanakan dan didesain oleh ahli teknik sipil dengan sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi tuntutan fungsi bangunan dan dapat beroperasi dengan baik pada saat bangunan digunakan. Agar suatu bangunan dengan struktur beton bertulang dapat berfungsi dengan baik, maka seorang perencana struktur harus mendesain elemen-elemen strukturnya dengan benar dan tepat. Elemen-elemen struktur dapat dibedakan dari fungsi dan beban yang dipikul pada setiap elemen (Setiawan, 2016). Beberapa elemen yang digunakan dalam merencanakan suatu struktur bangunan tahan gempa dapat dilihat pada subsubbab 2.4.1., 2.4.2., dan 2.4.3.

#### **2.4.1. Balok**

Balok adalah elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. (Wardana dkk, 2019).

Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai, sehingga akan

membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi (Setiawan, 2016).

#### **2.4.2. Kolom**

Berdasarkan SK SNI 15-1991-03, kolom didefinisikan sebagai sebuah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Kolom adalah elemen penting yang memikul beban dari balok dan pelat. Kolom dapat memikul beban aksial saja, namun lebih sering kolom direncanakan sebagai pemikul beban kombinasi aksial dan lentur. Selain beban gravitasi, kolom juga dapat direncanakan sebagai pemikul beban lateral yang berasal dari beban gempa atau beban angin (Setiawan, 2016).

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya adalah menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral kecil. (Wardana dkk, 2019).

Menurut Pattisia (2003), suatu elemen struktur kolom biasanya harus memikul beban aksial (tarik atau tekan) dan momen lentur secara bersama-sama maka elemen tersebut dapat dikatakan balok kolom (*beam-columns*). Apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibandingkan momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut diabaikan dan komponen tersebut dapat didesain sebagai komponen struktur lentur. Sedangkan gaya aksial yang bekerja lebih dominan daripada momen lentur, maka komponen struktur tersebut harus didesain sebagai komponen struktur tarik (jika yang bekerja gaya aksial tarik) atau didesain sebagai komponen struktur tekan (jika yang bekerja gaya aksial tekan).

#### **2.4.3. Dinding Geser**

Menurut Nasution (2009), Dinding geser merupakan komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur menahan gaya-gaya lateral.

Dinding geser adalah elemen vertikal yang menahan beban gravitasi dari balok atau dari pelat secara langsung. Beban yang diterima dinding geser ini kemudian disalurkan kepada pondasi. Tujuan utama dinding geser adalah untuk menahan gaya lateral yang dikumpulkan pada setiap tingkat bangunan dan di transfer ke pondasi. Dinding geser biasanya menyambung dari pondasi ke atap, yang diperkuat oleh pelat lantai di setiap tingkat. Dari atas ke bawah, beban yang bekerja pada dinding geser meningkat. Oleh karena itu, desain dinding geser semakin ke bawah akan semakin berat dari ketebalan dinding, jumlah tulangan, dan kekuatan dinding (Ashraf, 2018).

Dinding geser merupakan elemen yang serupa dengan pelat akan tetapi arahnya vertikal. Desain dan pendetailan pada bangunan yang menggunakan dinding geser selama ini memperlihatkan hasil yang baik saat terjadi goyangan akibat dari beban gempa (Manalip dkk, 2015)

## **2.5. Sistem Struktur**

Berdasarkan SNI 1726:2002 maupun SNI 1727:2019, terdapat 4 jenis sistem struktur dasar untuk bangunan tahan gempa yaitu sebagai berikut:

### **1. Sistem Dinding Penumpu**

Sistem dinding penumpu adalah sistem struktur yang tidak memiliki rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem struktur ini, beban gravitasi dipikul oleh dinding penumpu atau sistem bresing. Kemudian, untuk beban lateralnya dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

Dinding struktural pada bangunan berbentuk rangka harus dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang memadai yang diperlukan untuk mengurangi simpangan antar lantai yang disebabkan oleh gempa dan mengurangi kemungkinan kehancuran komponen nonstruktural yang ada pada gedung pada umumnya (Robach dkk, 2005).

### **2. Sistem Rangka Gedung**

Sistem rangka gedung adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Untuk beban lateralnya sendiri dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

### 3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Kemudian, beban lateralnya dipikul oleh rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Terdapat 3 jenis rangka pemikul momen yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka dimana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan hubungan balok kolomnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial (Sampakang dkk, 2013).

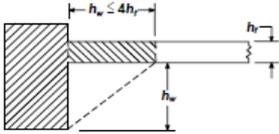
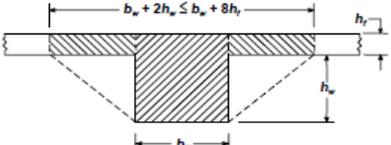
### 4. Sistem Ganda

Pada sistem struktur ganda, terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi dan pemikul beban lateralnya dapat berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Untuk rangka pemikul momennya, harus direncanakan secara terpisah dan mampu memikul beban sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Kemudian, kedua sistem ini harus direncanakan agar dapat memikul seluruh beban lateral secara bersamaan dengan memperhatikan interaksi dari sistem struktur.

## 2.6. Ketebalan Pelat Minimum

Untuk menentukan ketebalan pelat minimum, terdapat langkah-langkah yang perlu diikuti berdasarkan ketentuan SNI 2847:2002 dan SNI 2847:2019 seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penentuan Tebal Pelat

Penentuan Tebal Pelat	SNI 1726:2002	SNI 1726:2019
Bagian Pelat yang Diperhitungkan		
Rasio Rata-Rata Kekakuan Balok dengan Pelat ( $\alpha_m$ )	$\alpha_m = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p}$	
Tebal Pelat Minimum	<p>1.) <math>\alpha_m \leq 0,2</math></p> <p>a. Pelat tanpa penebalan: 120 mm</p> <p>b. Pelat dengan penebalan: 100 mm</p> <p>2.) <math>0,2 &lt; \alpha_m \leq 2</math></p> $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$ <p>dan tidak boleh kurang dari 120 mm.</p> <p>3.) <math>\alpha_m &gt; 2</math></p> $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta}$ <p>dan tidak boleh kurang dari 90 mm.</p>	<p>1.) <math>\alpha_{fm} \leq 0,2</math></p> <p>a. Pelat tanpa <i>drop panel</i>: 125 mm</p> <p>b. Pelat dengan <i>drop panel</i>: 100 mm</p> <p>2.) <math>0,2 &lt; \alpha_{fm} \leq 2</math></p> $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$ <p>dan tidak boleh kurang dari 125 mm.</p> <p>3.) <math>\alpha_{fm} &gt; 2</math></p> $h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$ <p>dan tidak boleh kurang dari 90 mm.</p>

Sumber: Dokumen Pribadi

Dalam menentukan nilai rasio rata-rata kekakuan diperlukan nilai  $E_{cb}$ ,  $E_{cp}$ ,  $I_{cb}$ , dan  $I_{cp}$ . Dimana untuk mencari nilai  $E_{cb}$  dan  $E_{cp}$  dapat menggunakan persamaan 2-1 dan untuk mencari nilai  $I_{cb}$  dan  $I_{cp}$  dapat menggunakan persamaan 2-2.

$$E = 4700 \times \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (2-1)$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots \dots \dots (2-2)$$

**2.7. Pembebanan**

Beban-beban pada struktur bangunan gedung dapat terdiri dari beban mati, beban hidup, beban hujan, beban gempa, beban angin, beban air, dan beban khusus lainnya yang direncanakan akan bekerja dalam struktur bangunan gedung tersebut. Jenis beban yang akan digunakan pada perencanaan struktur tahan gempa ini adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Ketentuan yang digunakan dalam menghitung pembebanan tersebut adalah RSNI 1727:2018.

**2.7.1. Beban Mati**

Menurut RSNI 1727:2018 beban mati didefinisikan sebagai 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.

Berdasarkan jenisnya beban mati dibagi menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut:

1. Beban Mati Akibat Berat Sendiri (DL)  
 Berdasarkan RSNI 1727:2018, dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.  
 Beban mati akibat berat sendiri yang ditimbulkan dari elemen-elemen struktur yaitu balok, kolom, dan pelat lantai (Arifin dkk, 2015).
2. Beban Mati Tambahan (SIDL)  
 Berdasarkan RSNI 1727:2018, dalam menentukan beban mati rencana, harus diperhitungkan berat peralatan layan yang digunakan dalam bangunan

gedung seperti plambing, mekanikal elektrikal, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara.

Kemudian, menurut Arifin dkk. (2015), beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen tambahan yang bersifat permanen.

### 2.7.2. Beban Hidup

Berdasarkan RSNI 1727:2018, beban hidup seperti Tabel 2.2 merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung tersebut atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, contohnya seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2.2 Beban Hidup

Hunian atau Penggunaan	Beban Hidup Merata (kN/m <sup>2</sup> )
<b>Apartemen (lihat rumah tinggal)</b>	
<b>Sistem lantai akses</b>	
Ruang kantor	2,4
Ruang komputer	4,79
<b>Gudang persenjataan dan ruang latihan</b>	7,18
<b>Ruang pertemuan</b>	
Kursi tetap (terikat di lantai)	2,87
Lobi	4,79
Kursi dapat dipindahkan	4,79
Panggung pertemuan	4,79
Lantai podium	7,18
Ruang pertemuan lainnya	4,79
<b>Balkon dan dek</b>	4,79
<b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>	1,92
<b>Koridor</b>	
Lantai pertama	4,79
Lantai lain	4,79
<b>Ruang makan dan restoran</b>	4,79
<b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>	
<b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b>	4,79
Hunian satu keluarga saja	1,92
<b>Garasi/parkir</b>	

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Beban Hidup Merata (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Mobil penumpang saja	1,92
<b>Helipad</b>	
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3000 lb (13,35 kN) atau kurang	1,92
Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3000 lb (13,35 kN)	2,87
<b>Rumah sakit</b>	
Ruang operasi, laboratorium	2,87
Ruang pasien	1,92
Koridor diatas lantai pertama	3,83
<b>Hotel (lihat rumah tinggal)</b>	
<b>Perpustakaan</b>	
Ruang baca	2,87
Ruang penyimpanan	7,18
Koridor diatas lantai pertama	3,83
<b>Pabrik</b>	
Ringan	6,00
Berat	11,97
<b>Gedung perkantoran</b>	
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79
Kantor	2,40
Koridor diatas lantai pertama	3,83
<b>Lembaga hukum</b>	
Blok sel	1,92
Koridor	4,79
<b>Tempat rekreasi</b>	
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	3,59
Ruang dansa dan ballroom	4,79
Gimnasium	4,79
<b>Rumah tinggal</b>	
Hunian satu dan dua keluarga	
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	0,48
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	0,96
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	1,44
Semua ruang kecuali tangga	1,92
Semua hunian rumah tinggal lainnya	
Ruang pribadi dan koridornya	1,92

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Beban Hidup Merata (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Ruang publik	4,79
Koridor ruang publik	4,79
<b>Atap</b>	
Atap yang digunakan penghuni	4,7
Atap bukan untuk hunian	0,96
<b>Sekolah</b>	
Ruang kelas	1,92
Koridor diatas lantai pertama	3,83
Koridor lantai pertama	4,79
<b>Tangga dan jalan keluar</b>	4,79
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	1,92
<b>Gudang diatas langit-langit</b>	0,96
<b>Gudang penyimpanan dan pekerja</b>	
Ringan	6,00
Berat	11,97
<b>Toko</b>	
Eceran	
Lantai pertama	4,79
Lantai diatasnya	3,59
Grosir, disemua lantai	6,00
<b>Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan</b>	2,87
<b>Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki</b>	4,79

Sumber: RSNI 1727:2018

### 2.7.3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban dalam arah horizontal dari struktur yang ditimbulkan oleh adanya gerakan tanah akibat gempa bumi, baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Pada beberapa kasus umumnya pengaruh gempa dalam arah vertikal lebih menentukan daripada pengaruh gempa arah vertikal. Besarnya gaya gempa yang bekerja pada dasar struktur/bangunan ditentukan berdasarkan persamaan 2-3.

$$V = C \times W \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan, C adalah koefisien respons seismik yang ditentukan berdasarkan respons spektrum pada lokasi bangunan serta jenis sistem struktur yang digunakan.

Sedangkan,  $W$  adalah berat seismik efektif yang berisi seluruh beban mati dan beban lainnya yang diisyaratkan dalam peraturan mengenai gempa .

Beban gempa merupakan beban yang sangat tidak dapat diperkirakan baik besarnya, arahnya, maupun saat terjadinya. Besarnya beban gempa yang bekerja pada suatu struktur bangunan, tergantung dari banyak variabel. Gaya horizontal, gaya vertikal, dan momen torsi yang terjadi akibat gempa pada struktur, sangat tergantung pada berat dan kekakuan material struktur, konfigurasi dan sistem struktur, periode atau waktu getar struktur, kondisi tanah dasar, wilayah kegempaan, serta perilaku gempa itu sendiri (Siswanto dan Salim, 2018).

Perhitungan lebih lanjut untuk beban gempa dapat dilihat pada subbab 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12.

## **2.8. Beban Merata Ekivalen**

Pada perencanaan pelat dua arah, pendistribusian beban dari pelat ke balok menggunakan metode amplop dimana bentuknya itu adalah trapesium dan segitiga. Beban pelat yang terdistribusi dalam bentuk trapesium dan segitiga dapat diekivalenkan menjadi beban merata dengan tujuan untuk memudahkan dalam menghitung gaya-gaya dalam pada balok.

Beban merata ekivalen untuk bidang trapesium dapat dihitung menggunakan persamaan 2-4 dan untuk bidang segitiga dapat dihitung menggunakan persamaan 2-5.

### **Beban merata ekivalen untuk bidang trapesium:**

$$Q_{ekv} = \frac{1}{2} Q \frac{l_x}{l_y^2} (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \dots\dots\dots(2-4)$$

### **Beban merata ekivalen untuk bidang segitiga:**

$$Q_{ekv} = \frac{1}{3} Q l_x \dots\dots\dots(2-5)$$

## 2.9. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan RSNI 1727 tahun 2018, struktur, komponen, dan pondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut:

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

Dengan,

$D$  = Beban mati (*Dead Load*)

$L$  = Beban hidup (*Live Load*)

$L_r$  = Beban hidup atap

$R$  = Beban hujan (*Rain Load*)

$W$  = Beban angin (*Wind Load*)

$E$  = Beban gempa (*Earthquake Load*)

## 2.10. Jenis-jenis Permodelan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, terdapat beberapa prosedur untuk memodelkan beban gempa sebagai berikut:

1. Analisis Spektrum Respons Ragam

Prosedur untuk memodelkan beban gempa dengan metode analisis spektrum respons ragam dapat dilihat pada subbab 2.11 dan 2.12.

2. Analisis Riwayat Waktu Linear

Analisis riwayat waktu linear harus terdiri dari analisis model matematis linear dari struktur untuk menentukan responsnya melalui metode-metode integrasi numerik, terhadap rangkaian percepatan yang dicocokkan secara spektral yang kompatibel dengan respons spektra desain di tempat itu.

### 2.11. Perencanaan Respons Spektrum Desain dengan SNI 1726:2002

Pada perencanaan respons spektrum ini, lokasi yang ditinjau yaitu Jakarta Barat. Lalu untuk jenis tanah, lokasi Jakarta Barat masuk dalam kategori tanah sedang (Aldiamar dkk, 2013).

#### 2.11.1. Jenis Tanah dan Perambatan Gelombang Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2002, jenis tanah ditetapkan sebagai tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak, apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis-jenis Tanah

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, $\bar{v}_s$ (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata $\bar{N}$	Kuat geser niralir rata-rata $\bar{S}_u$ (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$ , $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Sumber: SNI 1726:2002

Dalam Tabel 2.3,  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{N}$ , dan  $\bar{S}_u$  adalah nilai rata-rata berbobot besaran itu dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya yang harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / v_{si}} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i} \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / S_{ui}} \dots\dots\dots(2-8)$$

Di mana  $t_i$  adalah tebal lapisan tanah ke- $i$ ,  $v_{si}$  adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke- $i$ ,  $N_i$  nilai hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah ke- $i$ ,  $S_{ui}$  adalah kuat geser niralir lapisan tanah ke- $i$  dan  $m$  adalah jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar. Selanjutnya dalam Tabel II.3, PI adalah Indeks Plastisitas tanah lempung,  $w_n$  adalah kadar air alami tanah dan  $S_u$  adalah kuat geser niralir lapisan tanah yang ditinjau.

Kemudian yang dimaksud dengan jenis tanah khusus dalam Tabel II.3 adalah jenis tanah yang tidak memenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel tersebut. Di samping itu, yang termasuk dalam jenis tanah khusus adalah juga tanah yang memiliki potensi likuifaksi yang tinggi, lempung sangat peka, pasir yang tersementasi rendah dan rapuh, lebih dari 3 m, lempung sangat lunak dengan PI lebih dari 75 dan ketebalan lebih dari 10 m, lapisan lempung dengan  $25 \text{ kPa} < S_u < 50 \text{ kPa}$  dan ketebalan lebih dari 30 m.

**2.11.2. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons**

Berdasarkan SNI 1726:2002, respons spektrum desain ditentukan berdasarkan wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dan periode ulang 500 tahun yang terdiri dari wilayah gempa 1 sampai dengan 6. Dimana, wilayah gempa 1 adalah wilayah kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 merupakan wilayah kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa dan percepatan batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.4 dibawah ini.

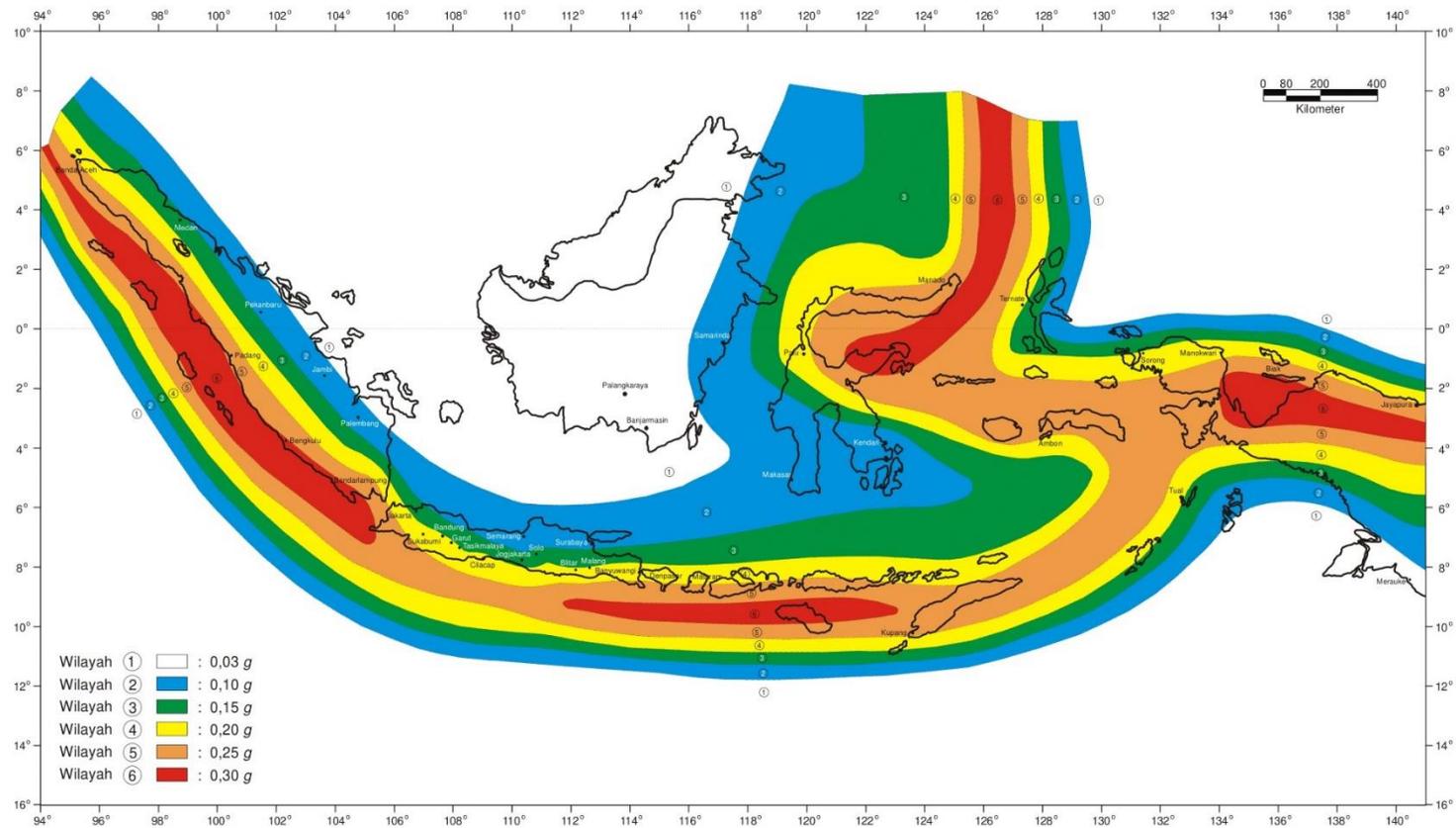
Berdasarkan Gambar 2.1, lokasi yang ditinjau masuk ke dalam wilayah gempa 3. Kemudian, untuk menentukan percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah ( $A_0$ ) untuk wilayah gempa 1 sampai dengan 6 dapat ditentukan dari Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-masing Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah $A_0$ ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI 1726:2002

Kemudian, untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa beban geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur beraturan, gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur gedung tidak beraturan, dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik seluruh ragam yang berpartisipasi pada struktur gedung tidak beraturan.



Gambar 2.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun

Sumber: SNI 1726:2002

Kemudian, percepatan respons maksimum  $A_m$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$A_m = 2.5 \times A_o \dots\dots\dots(2-9)$$

Dan waktu getar alami sudut  $T_c$  sebesar 0.5 detik, 0.6 detik, dan 1.0 detik untuk jenis tanah berturut-turut tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Maka faktor respons gempa ( $C$ ) dapat ditentukan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Untuk  $T = 0$

$$C = A_o \dots\dots\dots(2-10)$$

2. Untuk  $T \leq T_c$

$$C = A_m \dots\dots\dots(2-11)$$

3. Untuk  $T > T_c$

$$C = \frac{A_r}{T} \dots\dots\dots(2-12)$$

Nilai  $A_r$  tersebut dapat dilihat pada Tabel II.5 atau dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$A_r = A_m \times T_c \dots\dots\dots(2-13)$$

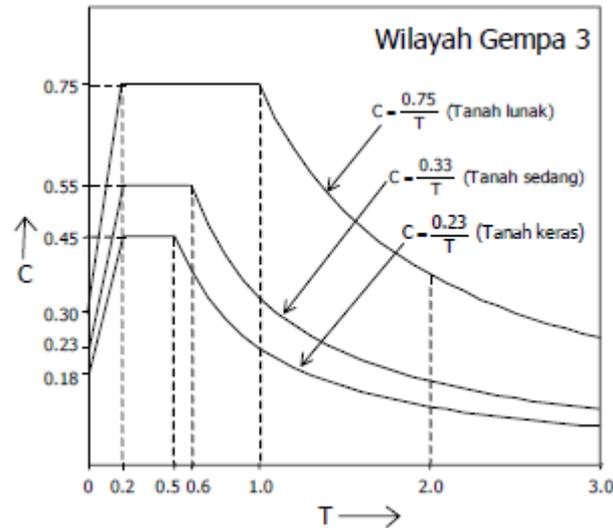
Dengan  $A_r$  merupakan pembilang dalam persamaan hiperbola faktor respons gempa maksimum pada spektrum respons gempa rencana.

Tabel 2.5 Spektrum Respons Gempa Rencana

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ detik		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ detik		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ detik	
	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95

Sumber: SNI 1726:2002

Kemudian, untuk gambar respons spektrum gempa rencana pada wilayah gempa 3 dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Respons Spektrum Gempa Rencana pada Wilayah Gempa 3

Sumber: SNI 1726:2002

## 2.12. Perencanaan Respons Spektrum Desain dengan SNI 1726:2019

### 2.12.1. Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019, situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya. Tabel klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

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

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.12.2. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor 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 2-14 dan 2-15.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2-14)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana:

$S_s$  merupakan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek dan  $S_1$  merupakan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik. Kemudian untuk mendapatkan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Setelah mendapatkan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dapat ditentukan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dari Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Koefisien Situs ( $F_a$ )

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

Sumber: SNI 1726:2019

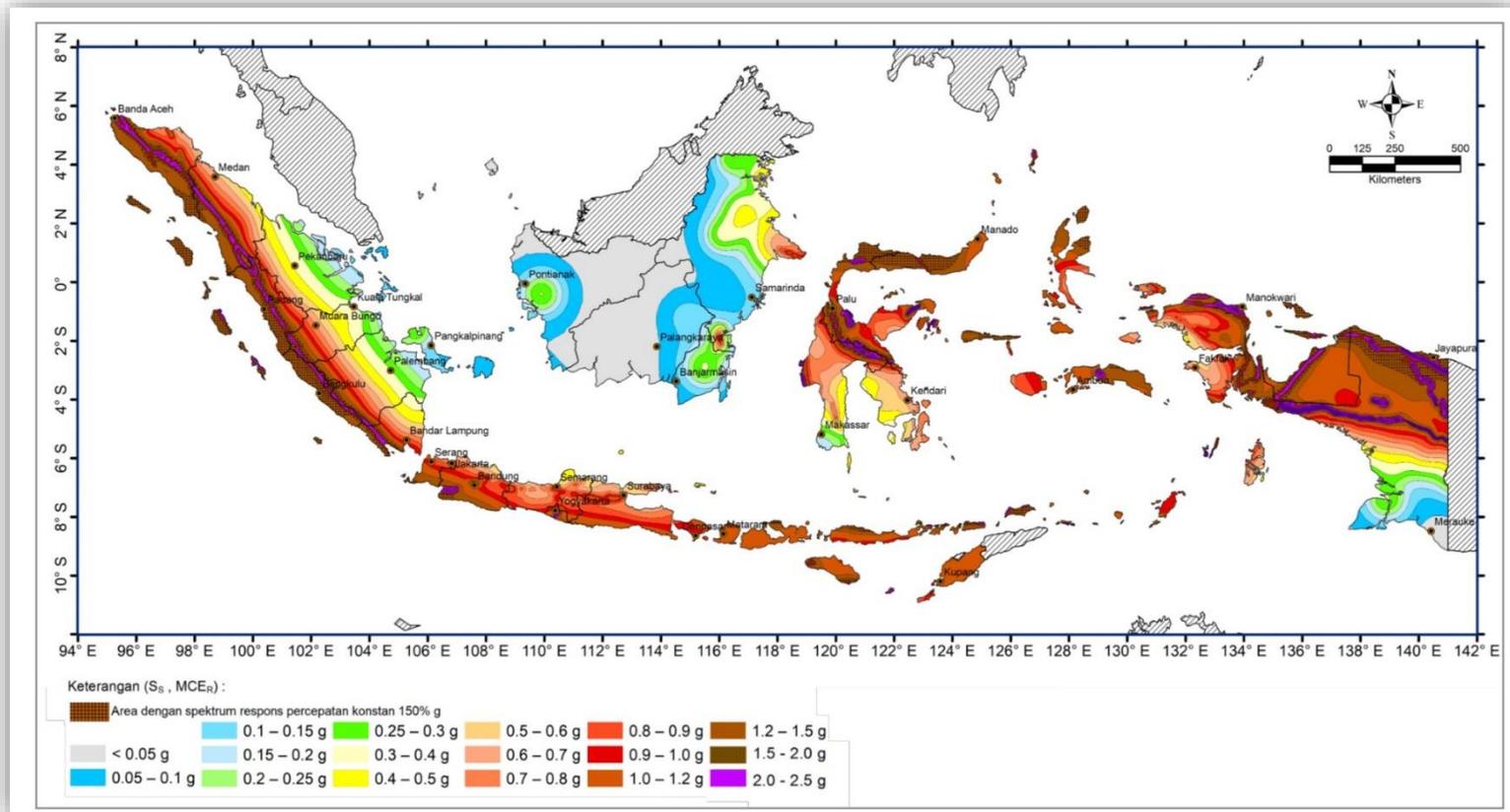
Tabel 2.8 Koefisien Situs ( $F_v$ )

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

Sumber: SNI 1726:2019

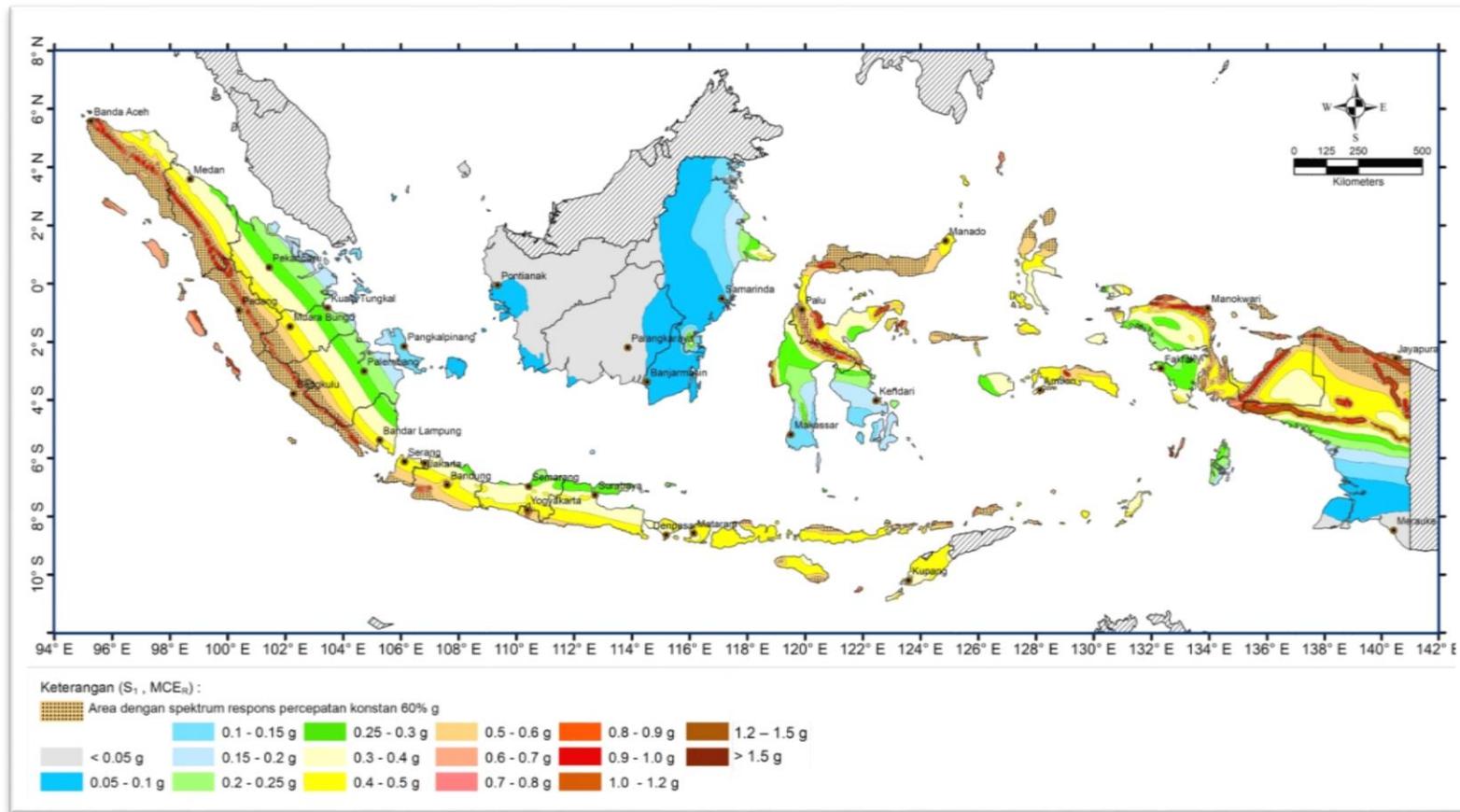
Catatan:

SS<sup>(a)</sup> = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik.



Gambar 2.3 Parameter Gerak Tanah  $S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 Detik dan Redaman Kritis 5%

Sumber: SNI 1726:2019



Gambar 2.4 Parameter Gerak Tanah,  $S_1$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 1 Detik dan Redaman Kritis 5%

Sumber: SNI 1726:2019

**2.12.3. Parameter Percepatan Spektral Desain**

Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), akan digunakan perumusan sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots\dots\dots(2-16)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots(2-17)$$

**2.12.4. Spektrum Respons Desain**

Dalam mendesain kurva spektrum respons, harus dikembangkan dengan mengacu kepada Gambar 2.5 dan dengan mengikuti ketentuan dibawah ini:

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

$$S_a = S_{DS} \times \left( 0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2-18)$$

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  $S_{DS}$

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots(2-19)$$

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;

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2-20)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2-21)$$

Keterangan:

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

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

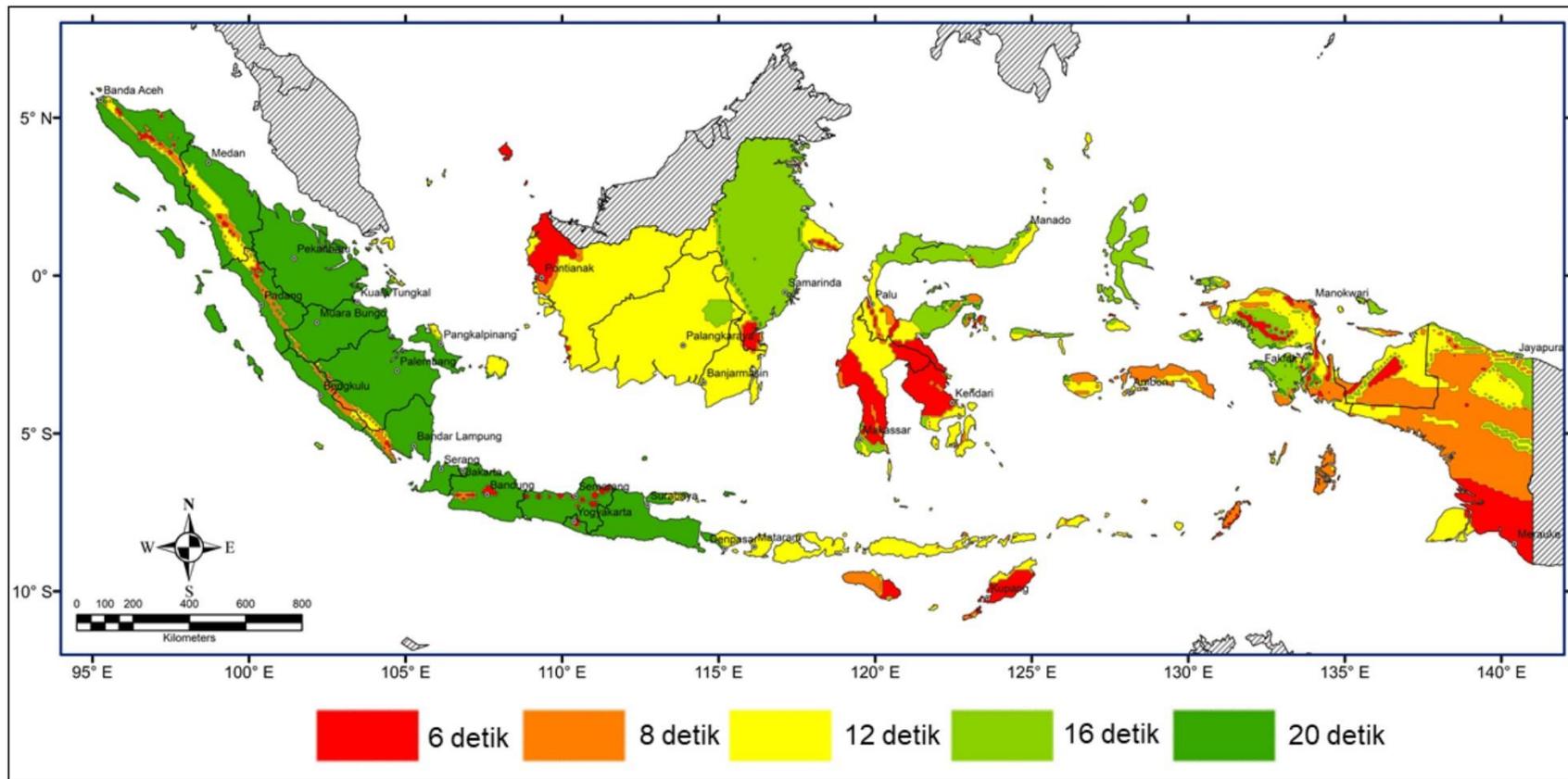
$T$  = Periode getar fundamental struktur

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

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

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang nilainya diambil dari Gambar 2.5

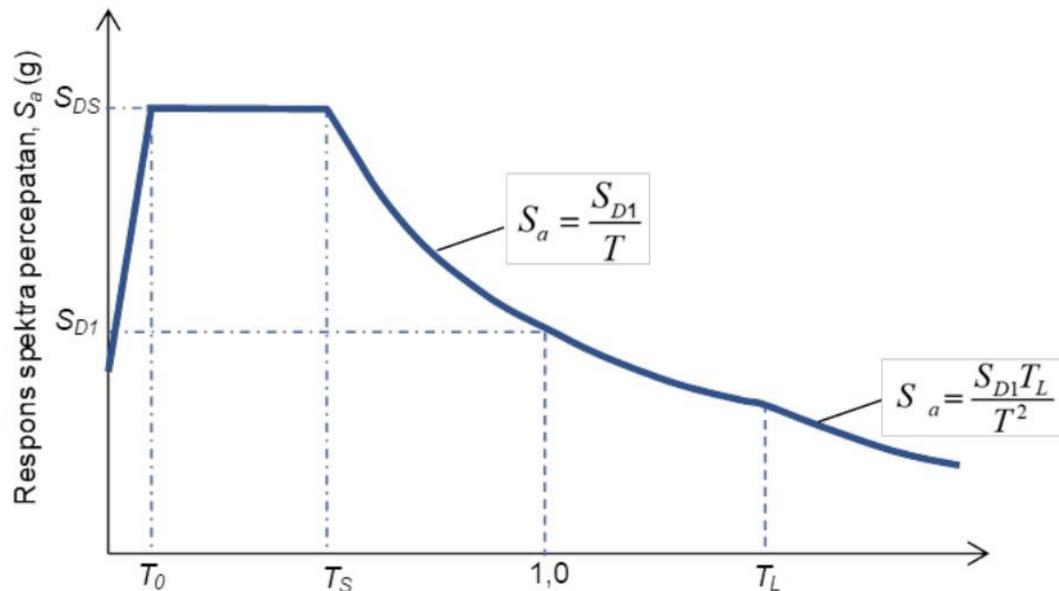




Gambar 2.5 Peta Transisi Periode Panjang,  $T_L$  untuk Wilayah Indonesia

Sumber : SNI 1726:2019

Dari ketentuan diatas dapat dibuat gambar grafik respons spektrum yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.13. Periode Getar Fundamental

Periode getar merupakan waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi awalnya. Periode getar sering disebut sebagai periode getar alami struktur dimana makna dari alami digunakan untuk menggambarkan setiap getaran untuk menekankan fakta bahwa hal tersebut merupakan periode alami dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar (Mulia, 2013).

Nilai waktu getar alami struktur perlu dibatasi agar mencegah suatu struktur berdeformasi secara berlebihan pada saat terjadi gempa dan penggunaan struktur bangunan yang terlalu fleksibel juga perlu dihindari (Indarto, 2005).

## 2.14. Penentuan Sistem Struktur (SNI 1726:2002)

### 2.14.1. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa pada peraturan ini ditetapkan untuk berbagai kategori gedung dengan bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung yang diharapkan. Pengaruh beban rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I = I_1 \times I_2 \dots \dots \dots (2-22)$$

Dimana,  $I_1$  merupakan faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung. Kemudian,  $I_2$  merupakan faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor keutamaan untuk berbagai kategori gedung dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan untuk Berbagai Kategori Gedung

Kategori gedung	Faktor keutamaan		
	I	$I_1$	$I_2$
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan, dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, dan bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber: SNI 1726:2002

### 2.14.2. Daktilitas Struktur Bangunan

Faktor daktilitas struktur gedung ( $\mu$ ) merupakan rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh beban rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan ( $\delta_m$ ) dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama ( $\delta_y$ ). Untuk parameter daktilitas struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	$\mu$	R
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktil parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktil penuh	5,3	8,5

Sumber: SNI 1726:2002

### 2.14.3. Faktor $R_m$ dan $\mu_m$

Untuk menentukan nilai faktor  $R_m$  dan  $\mu_m$  dapat dilakukan dengan menentukan jenis sistem dan subsistem struktur yang diinginkan. Faktor  $R_m$  dan  $\mu_m$  tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Faktor  $\mu_m$  dan  $R_m$  untuk Sistem dan Subsistem Struktur yang Dipilih

Sistem dan subsistem struktur gedung	$\mu_m$	$R_m$
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>		
1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5
2. Rangka bresing beton bertulang	1,8	2,8
<b>B. Sistem rangka gedung</b>		
1. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5
2. Rangka bresing biasa beton bertulang	3,6	5,6
3. Dinding geser beton bertulang berangkai daktil	4,0	6,5
4. Dinding geser beton bertulang kantilever daktil penuh	3,6	6,0

Sistem dan subsistem struktur gedung	$\mu_m$	$R_m$
5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>		
1. Rangka beton pemikul momen khusus	5,2	8,5
2. Rangka beton pemikul momen menengah	3,3	5,5
3. Rangka beton pemikul momen biasa	2,1	3,5

Sumber: SNI 1726:2002

#### 2.14.4. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar ( $V$ ) untuk suatu arah sumbu utama dapat dihitung menggunakan persamaan 2-23.

$$V = \frac{C_1 \times I}{R} \times W_t \dots\dots\dots(2-23)$$

dimana,

$C_1$  = Nilai faktor respons gempa

$R$  = Faktor reduksi gempa

$I$  = Faktor keutamaan gempa

$W_t$  = Berat total gedung

#### 2.14.5. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral ( $F_i$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_i = \frac{W_i \times Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \times Z_i} \times V \dots\dots\dots(2-24)$$

dimana,

$W_i$  = berat lantai ke  $i$

$Z_i$  = Ketinggian lantai ke  $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral

### 2.15. Penentuan Sistem Struktur (SNI 1726:2019)

#### 2.15.1. Kategori Risiko

Kategori risiko merupakan pengelompokkan struktur bangunan berdasarkan fungsinya untuk menentukan besar beban-beban gempa. Penentuan kategori risiko dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>2. Fasilitas sementara</li> <li>3. Gudang penyimpanan</li> <li>4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ol>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang masuk kedalam kategori risiko I, III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perumahan</li> <li>2. Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>3. Pasar</li> <li>4. Gedung perkantoran</li> <li>5. Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>6. Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>7. Bangunan industri</li> <li>8. Fasilitas manufaktur</li> <li>9. Pabrik</li> </ol>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bioskop</li> <li>2. Gedung pertemuan</li> <li>3. Stadion</li> <li>4. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan gawat darurat</li> </ol>	III

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>5. Fasilitas penitipan anak</p> <p>6. Penjara</p> <p>7. Bangunan untuk orang jompo</p> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>2. Fasilitas penanganan air</li> <li>3. Fasilitas penanganan limbah</li> <li>4. Pusat telekomunikasi</li> </ol> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi batas syarat yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bangunan-bangunan monumental</li> <li>2. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>3. Rumah ibadah</li> <li>4. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>5. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>6. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> </ol>	IV

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
7. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat. 8. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 9. Struktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV	

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.15.2. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko yang dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Faktor Keutamaan Gempa

<b>Kategori Risiko</b>	<b>Faktor Keutamaan Gempa, <math>I_e</math></b>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.15.3. Kategori Desain Seismik

Desain seismik terbagi ke dalam 6 kategori yaitu kategori A (minimum risiko) sampai dengan kategori F (risiko tinggi). Untuk kategori desain seismik E dan F ditentukan berdasarkan kategori risiko dan nilai  $S_1$  sebagai berikut:

1. Kategori Desain Seismik E = Kategori risiko I, II, dan III dengan nilai  $S_1 \geq 0,75$
2. Kategori Desain Seismik F = Kategori risiko IV dengan nilai  $S_1 \geq 0,75$

Kemudian, untuk kategori desain seismik A sampai dengan D ditentukan berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desain ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 2.14 dan Tabel 2.15.

Tabel 2.14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

#### 2.15.4. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Untuk dapat menahan gaya seismik pada masing-masing arah sumbu orthogonal struktur diizinkan untuk menggunakan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda. Berikut merupakan batasan sistem struktur pada struktur bangunan beton bertulang disertai dengan nilai  $R$  dan  $\Omega_0$  yang sudah ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Faktor R dan  $\Omega_0$  untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem,	Faktor pembesaran defleksi, $C_d$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>								
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	TI	TI	TI
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>								
1. Dinding geser beton bertulang khusus	6	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	5	$2\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus</b>								
1. Dinding geser beton bertulang khusus	7	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Dinding geser beton bertulang biasa	6	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	TI	TI	TI
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah</b>								
1. Dinding geser beton bertulang khusus	$6\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	30	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	$5\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.15.5. Penentuan Periode Gedung

Penentuan periode untuk geser dasar gedung, dibatasi bahwa nilainya tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 2.17 dengan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) yang dapat dihitung dengan persamaan 2-25 ataupun dari Tabel 2.18.

Tabel 2.17 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

Sumber: SNI 1726:2019

Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung periode fundamental pendekatan ( $T_a$ )

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots(2-25)$$

Dengan,  $h_n$  merupakan ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.

Tabel 2.18 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:	0,0724	0,8
	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019

### 2.15.6. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2-26.

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots(2-26)$$

keterangan:

$C_s$  = Koefisien respons seismik yang ditentukan berdasarkan persamaan 2-27

$W$  = Berat seismik efektif

### 2.15.7. Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-27.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots(2-27)$$

keterangan:

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

$R$  = Koefisien modifikasi respons

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung dengan persamaan 2-27 memiliki ketentuan nilai maksimalnya pada persamaan 2-28 dan 2-29. Kemudian, untuk nilai minimalnya dapat dilihat pada persamaan 2-30 sebagai berikut:

1. Batas maksimum

a. Untuk  $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \times \frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots(2-28)$$

b. Untuk  $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2 \times \frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots(2-29)$$

2. Batas minimum

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2-30)$$

Kemudian jika struktur berada di lokasi dengan nilai  $S_1 \geq 0,6$ , maka nilai minimal untuk  $C_s$  dapat dilihat pada persamaan 2-31

$$C_s = \frac{0,5 \times S_1}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots(2-31)$$

Keterangan:

- $S_{D1}$  = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik
- $T$  = Periode fundamental struktur
- $S_1$  = Parameter percepatan respons spektral maksimum

**2.15.8. Distribusi Vertikal Gaya Seismik**

Gaya seismik lateral ( $F_i$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 2-32 sebagai berikut:

$$F_i = C_v \times V \dots\dots\dots(2-32)$$

Dengan nilai  $C_{vx}$  berdasarkan persamaan 2-33 sebagai berikut:

$$C_v = \frac{W_i \times h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i \times h_i^k} \dots\dots\dots(2-33)$$

dimana,

- $C_v$  = Faktor distribusi vertikal
- $W_i$  = Berat lantai ke  $i$

$h_i$  = Tinggi lantai ke  $i$

$k$  = Eksponen yang terkait dengan periode struktur yang nilainya seperti berikut:

- Untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$
- Untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$
- Untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2

### 2.16. Simpangan Antar Tingkat

Menurut Farzad (2000), simpangan adalah perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan perpindahan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*). Simpangan antar tingkat akibat gempa perlu dikontrol untuk:

1. Kestabilan struktur (*structural stability*);
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan pada berbagai komponen bukan struktur;
3. Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami getaran gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2002 dikatakan bahwa kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana dengan tujuan membatasi terjadinya pelepasan baja dan peretakan beton yang berlebihan di samping untuk mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Untuk memenuhi persyaratan tersebut simpangan antar tingkat perlu dibatasi dengan nilai terkecil dari:

1.  $0,03/R$  yang dikali dengan tinggi tingkat;
2. 30 mm

Selanjutnya, berdasarkan SNI 1726:2019 dikatakan bahwa simpangan pusat massa di tingkat  $x$  harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

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

Dengan keterangan:

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{xe}$  = simpangan di tingkat x yang ditentukan dengan analisis elastic

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Kemudian untuk nilai faktor  $C_d$  dapat dilihat pada subsubbab 2.15.4.

## 2.17. Syarat Desain dan Standar Penulangan

Berdasarkan SNI 1726:2002, dijelaskan bahwa struktur gedung harus memenuhi persyaratan “kolom kuat dan balok lemah”. Artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom dan kaki dinding geser saja.

### 2.17.1. Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019, terdapat beberapa persyaratan/ketentuan yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. Tinggi minimum balok

Ketinggian minimum balok dapat dilihat pada Tabel 2.19

Tabel 2.19 Tinggi Minimum Balok

Kondisi perletakan	h minimum
Perletakan sederhana	1/16
Menerus satu sisi	1/18,5
Menerus dua sisi	1/21
Kantilever	1/8

Sumber: SNI 2847:2019

2. Batasan tulangan balok

Pada penulangan balok perlu diketahui bahwa nilai  $A_{s,min}$  harus lebih besar dari:

$$a. \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2-34)$$

$$b. \quad \frac{1,4}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2-35)$$

**2.17.2. Kolom**

Berdasarkan SNI 2847:2019, syarat-syarat yang perlu dipenuhi dalam mendesain kolom adalah sebagai berikut:

1. Batasan dimensi kolom

Ukuran minimum eksplisit pada kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom beton bertulang dengan penampang kecil untuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika digunakan penampang kolom kecil, diperlukan ketelitian pekerjaan yang lebih baik, dan tegangan susut meningkat secara signifikan.

2. Batasan tulangan longitudinal

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata  $f_{pe} < 1,6$  MPa, minimal luas tulangan longitudinalnya adalah  $0,01 A_g$  dan maksimalnya adalah  $0,08 A_g$

3. Batasan tulangan geser

Luas minimum tulangan geser  $A_{v,min}$ , harus disediakan di semua wilayah dimana  $V_u > 0,5 \Phi V_c$ .

Jika tulangan geser diperlukan,  $A_{v,min}$  harus lebih besar dari:

$$a) \quad 0,062 \sqrt{f_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2-36)$$

$$b) \quad 0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2-37)$$

**2.17.3. Dinding Geser**

Berdasarkan SNI 2847:2019, terdapat batasan-batasan yang perlu diperhatikan dalam merencanakan dinding geser yaitu sebagai berikut:

1. Batasan desain

Untuk ketebalan minimum dinding dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Ketebalan Minimum

Tipe dinding	Ketebalan minimum	
Tumpu	Terbesar dari	100 mm
		1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
Bukan tumpu	Terbesar dari	100 mm
		1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu
Basemen dan pondasi eksterior	190 mm	

Sumber: SNI 2847:2019

2. Batasan tulangan ( $V_u \leq 0,5 \times \Phi V_c$ )

Apabila gaya geser sebidang ( $V_u \leq 0,5 \times \Phi V_c$ ), maka nilai  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  harus mengikuti Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Tulangan Minimum untuk Dinding dengan Geser Sebidang  
 $V_u \leq 0,5 \times \Phi V_c$

Tipe dinding	Tipe dari tulangan non prategang	Ukuran tulangan	$F_y$ (Mpa)	Longitudinal minimum, $\rho_l$	Transversal minimum, $\rho_t$
Cor di tempat	Batang ulir	$\leq D16$	$\geq 420$	0,0012	0,0020
			$< 420$	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	$\leq \emptyset 13$ atau D13	Semua	0,0012	0,0020
Pracetak	Batang ulir atau tulangan kawat las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

Sumber: SNI 2847:2019

3. Batasan tulangan ( $V_u \geq 0,5 \times \Phi V_c$ )

Apabila gaya geser sebidang ( $V_u \geq 0,5 \times \Phi V_c$ ), maka nilai  $\rho_l$  harus diambil yang terbesar dari persamaan 2-38 dan 0,0025

$$\rho_l \geq 0,0025 + 0,5 \left( 2,5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \dots \dots \dots (2-38)$$

Kemudian untuk nilai  $\rho_t$  tidak boleh kurang dari 0,0025.

## 2.18. Syarat Penulangan untuk Setiap Rangka Pemikul Momen

Berdasarkan SNI 2847:2019, diberikan syarat-syarat penulangan untuk beberapa sistem struktur rangka pemikul momen yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK).

### 2.18.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

1. Balok

Balok harus memiliki minimal 2 (dua) batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang 2 sisi atas dan bawah penampang. Luas tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur agar dapat mencapai kekuatan leleh tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

2. Kolom

Kolom yang panjangnya tak tertumpu ( $l_u \leq 5c_1$ ) harus memiliki nilai  $\phi V_n$  yang terendah diantara a dan b.

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

### 2.18.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

#### 1. Balok

Balok harus memiliki minimal 2 (dua) batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang 2 sisi atas dan bawah penampang. Luas tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur agar dapat mencapai kekuatan leleh tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

$\phi V_n$  tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara a dan b:

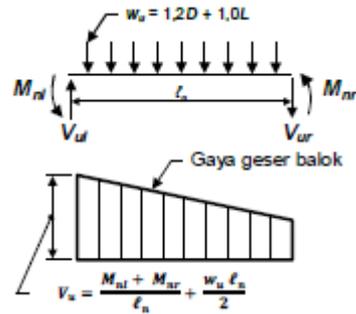
- a. Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya  $M_n$  pada muka joint di setiap ujung balok akibat lentur berbalik arah dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b. Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk E, dengan E ditetapkan sebesar 2 kali nilai yang disyaratkan.

Gaya geser terfaktor, ditentukan dari *free body diagram* yang diperoleh dengan memotong ujung-ujung balok, dengan momen ujung yang diasumsikan sama dengan kekuatan momen nominal dalam lentur kurvatur balik, baik searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam.

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

- a.  $d/4$
- b. 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengegang
- d. 300 mm

Dan terakhir, sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.



Gambar 2.7 Desain Geser Balok

Sumber: SNI 2847:2019

Pada Gambar 2.7, terlihat bahwa hanya 1 dari 2 opsi yang harus dipertimbangkan untuk setiap balok. Untuk menentukan geser maksimum balok, diasumsikan bahwa kekuatan momen nominalnya ( $\phi = 1,0$ ) yang dihasilkan secara bersamaan di kedua ujung jarak bersihnya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, geser yang terkait dengan kondisi ini  $[(M_{nl} + M_{nr})/l_n]$  ditambahkan secara aljabar pada geser akibat beban gravitasi terfaktor untuk mendapatkan gaya geser desain balok.

## 2. Kolom

$\phi V_n$  tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara a dan b:

- Jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya  $M_n$  pada muka join di setiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor dengan gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor, termasuk E, dengan  $\Omega_0 E$  sebagai pengganti E.

Gaya geser terfaktor yang ditentukan dari *free body diagram* yang diperoleh dengan memotong ujung kolom, dengan momen nominal yang bekerja dalam lentur kurvatur balik, baik searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam. Berdasarkan SNI 1726,  $\Omega_0 = 3,0$  untuk sistem rangka pemikul momen menengah. Faktor untuk kolom relatif lebih tinggi terhadap balok karena kekhawatiran yang lebih besar mengenai kegagalan geser pada kolom.

Kolom bundar harus diberi tulangan spiral. Ketentuan ini harus diberlakukan untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.

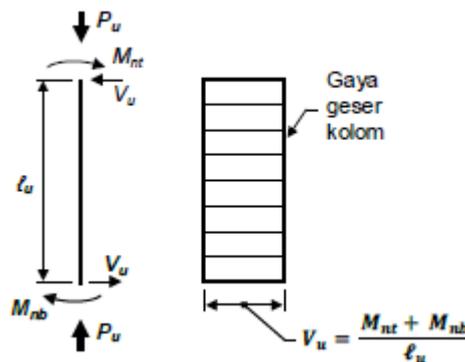
Pada kedua ujung kolom, sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi  $s_0$  sepanjang  $l_0$  dari muka joint. Spasi  $s_0$  tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a hingga d:

- 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekuat
- $\frac{1}{2}$  dimensi penampang terkecil kolom
- 300 mm

Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari e sampai dengan g:

- $\frac{1}{6}$  tinggi bersih kolom
- Dimensi maksimum penampang kolom
- 450 mm

Sengkang pengekuat pertama harus ditempatkan tidak lebih dari  $s_0/2$  dari muka joint.



Gambar 2.8 Desain Geser Kolom

Sumber: SNI 2847:2019

Pada Gambar 2.8, terlihat bahwa hanya 1 dari 2 opsi yang harus dipertimbangkan untuk setiap kolom. Gaya aksial terfaktor  $P_u$  harus dipilih untuk menghasilkan kekuatan momen terbesar kolom di dalam rentang gaya aksial desain.

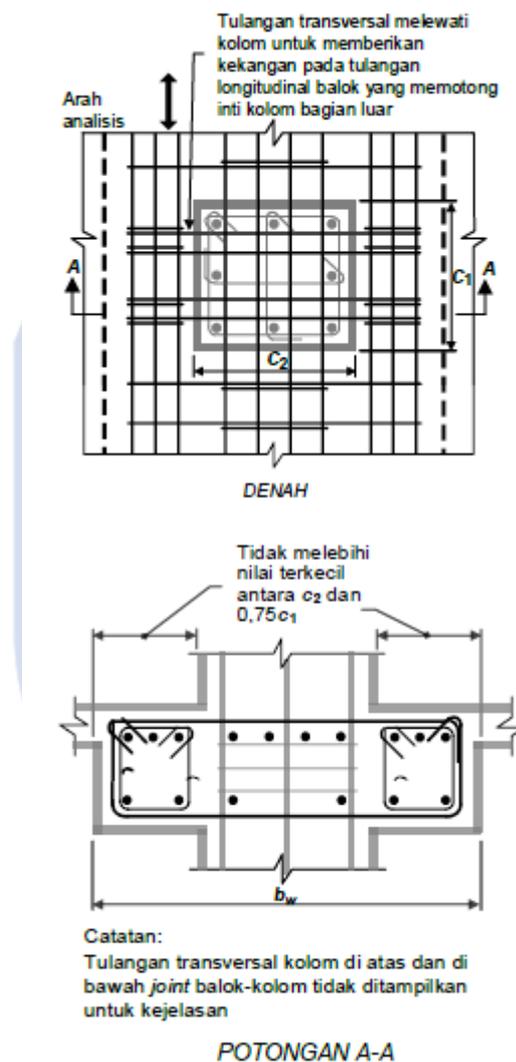
### 2.18.3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

#### 1. Balok

Batasan dimensi untuk balok harus memenuhi a hingga c:

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

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



Gambar 2.9 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (*Wide Beam*) dan Persyaratan Tulangan Transversal

Sumber: SNI 2847:2019

Untuk tulangan longitudinalnya, balok harus memiliki minimal 2 batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Pada sebarang penampang, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari persamaan 2-1 dan 2-2

dan rasio tulangan  $\rho$  tidak boleh melebihi 0,025 baik untuk tulangan atas maupun bawah.

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut. Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4}$  kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

Untuk tulangan transversalnya, sengkang pengekang harus dipasang pada balok di daerah berikut ini:

- a. Sepanjang jarak yang sama dengan 2 kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok
- b. Sepanjang jarak yang sama dengan 2 kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

Sengkang pengekang pada balok diizinkan terdiri dari 2 batang tulangan yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.

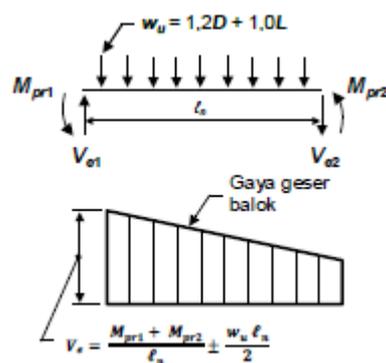
Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a hingga c:

- a.  $d/4$
- b. 6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm

Gaya geser desain  $V_e$  harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok diantara kedua muka joint. Momen-momen dengan dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan

balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor disepanjang bentangnya.

Dikarenakan kekuatan leleh aktual pada tulangan longitudinal dapat melebihi kekuatan leleh yang disyaratkan dan karena pengerasan regangan cenderung terjadi pada suatu joint yang terkena rotasi yang besar, kekuatan geser perlu ditentukan menggunakan tegangan minimal sebesar  $1,25 f_y$  tulangan longitudinal.



Gambar 2.10 Desain Geser Balok

Sumber: SNI 2847:2019

Pada Gambar 2.10, menjelaskan bahwa arah geser  $V_e$  bergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung. Kemudian momen-momen ujung ( $M_{pr}$ ) berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25 f_y$  dimana  $f_y$  merupakan kekuatan leleh yang diisyaratkan. Kedua momen ujung harus ditinjau dalam 2 arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam).

Gaya geser desain  $V_e$  harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok diantara kedua muka joint. Momen-momen dengan dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor disepanjang bentangnya.

Dikarenakan kekuatan leleh aktual pada tulangan longitudinal dapat melebihi kekuatan leleh yang disyaratkan dan karena pengerasan regangan cenderung terjadi pada suatu joint yang terkena rotasi yang besar, kekuatan geser perlu ditentukan menggunakan tegangan minimal sebesar  $1,25 f_y$  tulangan longitudinal.

## 2. Kolom

Batasan dimensi untuk kolom berdasarkan SNI 2847:2019 harus memenuhi a dan b:

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

Untuk luas tulangan longitudinalnya ( $A_{st}$ ) tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  dan maksimalnya  $0,06 A_g$ . Pada kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum adalah 6.

Untuk tulangan transversalnya harus sesuai dengan a hingga f dibawah ini:

- a. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk, sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
- b. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- d. Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral.
- e. Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan longitudinal di sepanjang keliling penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.

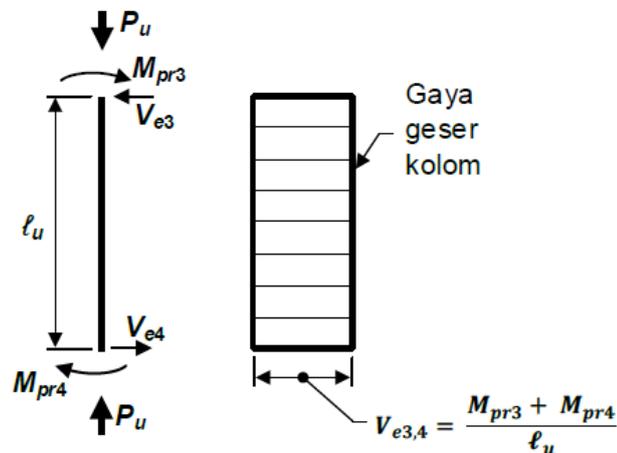
- f. Ketika  $P_u > 0,3A_g f'_c$  atau  $f'_c > 70$  MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang tulangan longitudinal disekeliling intin kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang ataupun oleh kait gempap, dan nilai  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $P_u$  harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk E.

Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari a hingga c dibawah ini:

- $\frac{1}{4}$  kali dimensi terkecil penampang kolom
- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- $s_o$ , yang dihitung dengan

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

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



Gambar 2.11 Desain Geser Kolom

Sumber: SNI 2847:2019

Pada Gambar 2.11, menjelaskan bahwa arah gaya geser  $V_e$  tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung. Momen ujung  $M_{pr}$  untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh  $M_{pr}$  balok-balok yang merangka ke dalam sambungan balok-kolom.  $V_e$  tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh analisis struktur.

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

Apabila balok-balok yang merangka pada sisi yang saling berlawanan dari joint, kekuatan kombinasi adalah penjumlahan kekuatan momen negatif pada satu sisi joint dan kekuatan momen positif pada sisi joint lainnya. Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak 1,25  $f_y$ . Distribusi kombinasi kekuatan momen pada balok ke kolom di atas dan di bawah joint harus berdasarkan analisis.

### 3. Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019, ketentuan desain untuk menentukan segmen vertikal dinding dapat dilihat pada Tabel 2.22.

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 ( $l_w/b_w$ )		
	$(l_w/b_w) \leq 2,5$	$2,5 < (l_w/b_w) \leq 6$	$(l_w/b_w) > 6$
$h_w/l_w < 2$	Dinding	Dinding	Dinding
$h_w/l_w \geq 2$	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom	Dinding

Sumber: SNI 2847:2019

Keterangan:

$h_w$  : tinggi bersih

$l_w$  : panjang horizontal

$b_w$  : lebar badan segmen dinding

Ketentuan desain segmen vertikal dinding tergantung pada aspek rasio segmen dinding pada bidang dinding ( $h_w/l_w$ ), dan aspek rasio dari penampang horizontal ( $l_w/b_w$ ). Batasan aspek rasio untuk pilar dinding berdasarkan penilaian keefektifan. Hal ini dimaksudkan bahwa pelelehan lentur tulangan vertikal pada pilar akan membatasi kebutuhan geser pada pilar.

Untuk persyaratan tulangan minimumnya,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  tidak boleh kurang dari 0,0025, kecuali  $V_u$  tidak melebihi  $0,083 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f'_c}$ ,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  diizinkan untuk direduksi sesuai Tabel II.3. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang memberikan kontribusi pada  $V_n$  harus menerus dan harus didistribusikan sepanjang bidang geser.

Jika  $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f'_c}$  atau  $h_w/l_w \geq 2$ , maka tulangan yang digunakan pada dinding paling sedikit harus dua lapis untuk meningkatkan stabilitas lateral pada daerah tekan akibat beban siklik yang menyebabkan pelelehan tulangan tarik vertikal.

Untuk gaya geser desain pada dinding geser dengan penampang persegi tanpa bukaan ( $V_n$ ), tidak boleh melebihi:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + \rho_t \times f_y) \dots \dots \dots (2-39)$$

Dengan,

$\alpha_c$  : 0,25 untuk  $h_w/l_w \leq 1,5$

0,17 untuk  $C \geq 2$

Bervariasi secara linear antara 0,25 - 0,17 untuk  $h_w/l_w$  antara 1,5 – 2

$A_{cv}$  : Luas penampang bruto bukan hasil kali lebar dan tinggi efektif

$\rho_t$  : Rasio tulangan horizontal

Dinding atau pilar-pilar dinding dengan  $h_w/l_w \geq 2$  yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksialnya harus memenuhi a dan b:

- a. Daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus bila

$$c \geq \frac{l_w}{600(1,5 \times \delta_u/h_w)} \dots\dots\dots(2-40)$$

Dengan c sesuai dengan nilai tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal, yang konsisten dengan arah perpindahan desain  $\delta_u$ , Rasio  $\delta_u/h_w$  harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005.

- b. Bila elemen batas khusus disyaratkan oleh a, tulangan transversal elemen batas khusus harus diperpanjang pada arah vertikal, di atas dan di bawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari  $l_w$  dan  $M_u/4V_u$ .

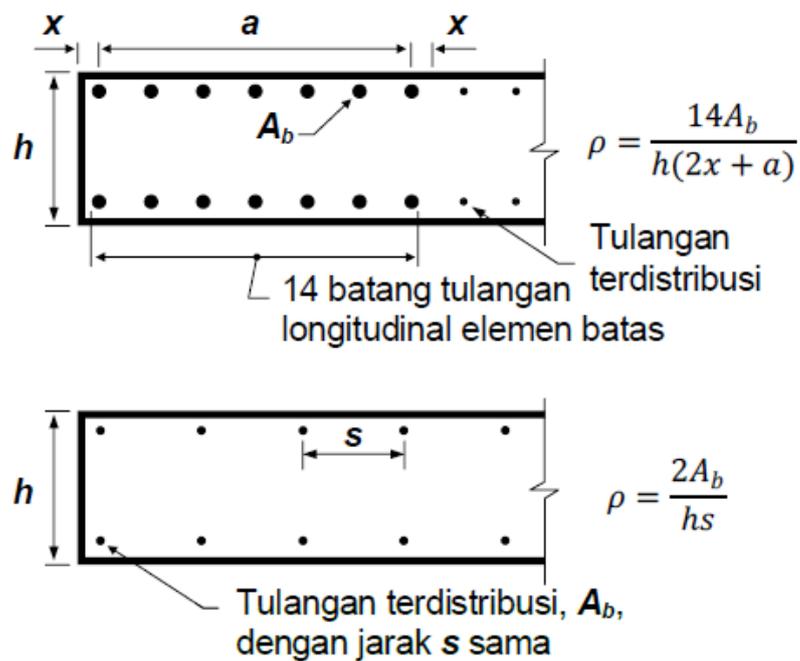
Dinding-dinding geser yang tidak didesain sesuai a dan b diatas, harus memiliki elemen-elemen batas khusus pada daerah batas dan daerah tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding geser dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (E), melebihi  $0,2 \times f'_c$ . Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari  $0,15 \times f'_c$ . Tegangan-tegangan harus dihitung berdasarkan beban-beban terfaktor menggunakan model elastic linear dan sifat-sifat penampang bruto.

Bila elemen batas khusus tidak diperlukan maka harus mengikuti persyaratan a dan b:

- a. Jika rasio tulangan longitudinal pada elemen batas dinding melebihi  $2,8/f_y$ , spasi arah longitudinal pada tulangan transversal tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 200 mm dan  $8d_b$  batang tulangan lentur utama terkecil, kecuali spasi tersebut tidak melebihi nilai terkecil dari 150 mm dan  $6d_b$  di dalam zona sejauh nilai terbesar antara  $l_w$  dan  $M_u/4V_u$  di atas dan di

bawah penampang kritis dimana pelepasan tulangan longitudinal dapat terjadi akibat perpindahan lateral inelastik yang ditinjau.

- b. Kecuali jika  $V_u$  pada bidang dinding lebih kecil dari  $0,083 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f'_c}$ , maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi-tepi dinding geser tanpa elemen batas harus memiliki kait standar yang melingkupi tulangan tepi yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan, serta disambunglewatkan pada tulangan horizontal tersebut.



Gambar 2.12 Rasio Tulangan Longitudinal untuk Elemen Batas Dinding Tipikal

Sumber: SNI 2847:2019

Pada Gambar 2.12, diketahui bahwa beban siklik bolak balik dapat menimbulkan tekuk tulangan longitudinal di elemen batas, bahkan dalam kasus dimana persyaratan pada dinding batas tidak memerlukan elemen batas khusus. Untuk dinding dengan jumlah penulangan longitudinal elemen batas yang moderat, ikat silang disyaratkan untuk mencegah tekuk. Rasio tulangan untuk elemen batas dinding dapat dilihat pada Gambar 2.12.