

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

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

2.2 Standar yang digunakan dalam penelitian

Standar yang digunakan dalam penelitian perbandingan kebutuhan tulangan gedung asimetris 14 lantai berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 sebagai berikut:

- a. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 03-1726-2012).
- b. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 03-17261-2019).
- c. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2013).
- d. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2020).
- e. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013).
- f. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2019).

2.3 Data yang Digunakan dalam Penelitian

2.3.1 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pembebanan berdasarkan SNI 1727-2013 dan SNI 1727-2020 tentang Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Beban yang digunakan antara lain:

a. Beban Hidup (*LL*)

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). Pemilihan beban hidup pada

perencanaan struktur dipilih berdasarkan fungsi bangunannya. Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini adalah di peruntukan untuk bangunan rumah sakit.

b. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen gedung arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan system pengangkut material. Beban mati yang diperhitungkan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Berat kolom sendiri.
2. Berat sendiri balok induk, balok anak.
3. Berat pelat lantai

c. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen tambahan yang bersifat permanen.

d. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.

e. Beban Atap (L_r)

Beban atap adalah beban yang bekerja di bagian atap bangunan.

2.3.2 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut sesuai dengan SNI 03-1726-2012 dan SNI 1727

a. Kombinasi Pembebanan Ultimit SNI 03-1726-2012

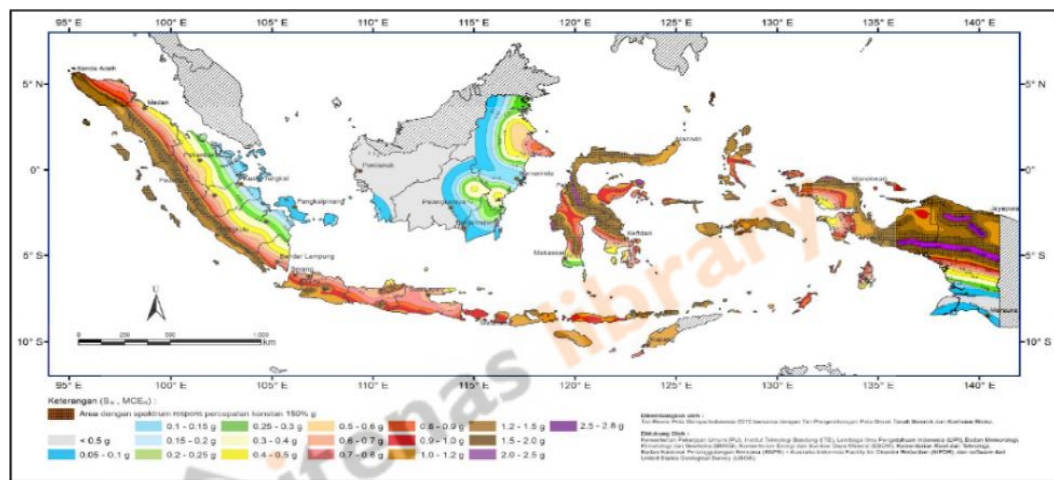
1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

b. Kombinasi Pembebanan Ultimit SNI 03-1726-2019

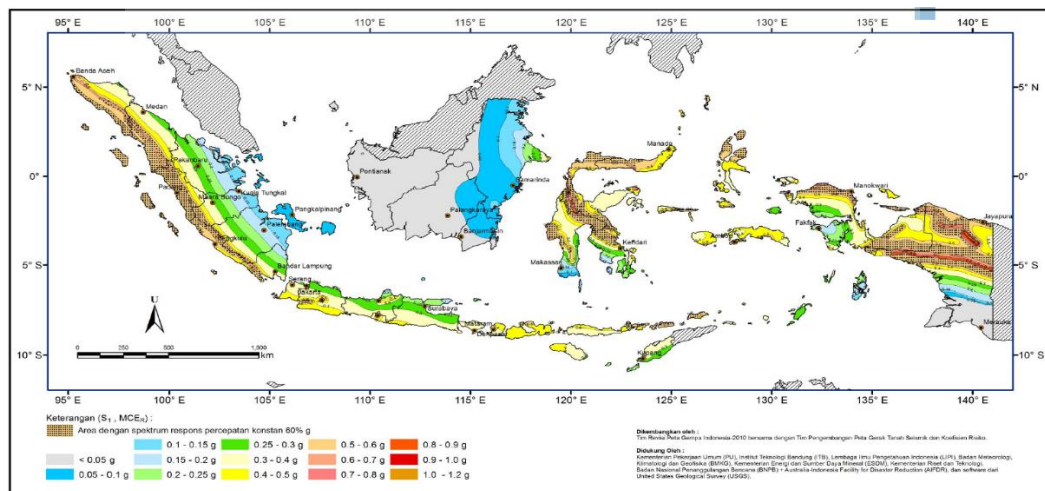
1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + E_v + E_h + L$
7. $0,9 D - E_v + E_h$

2.3.2 Wilayah Gempa dan Kelas Situs Tanah

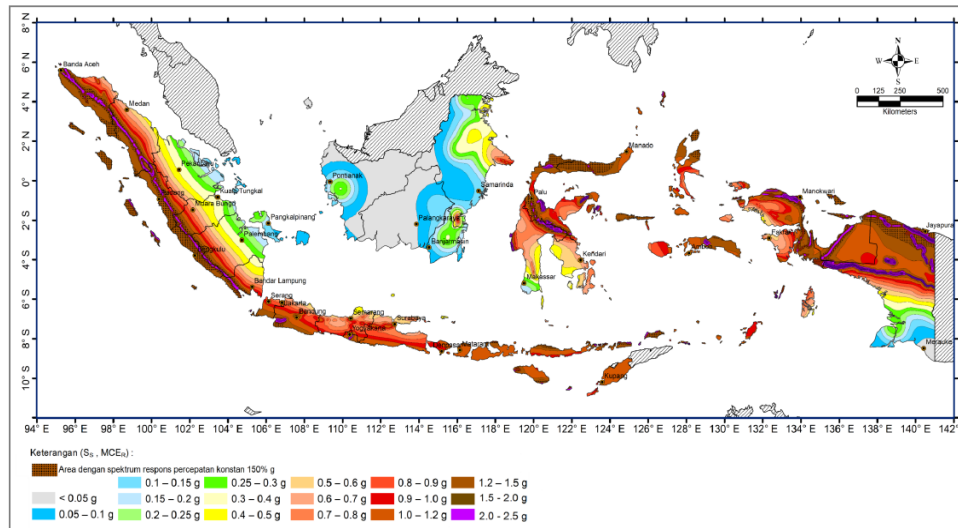
SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 menunjukkan peta gempa maksimum (MCE_R) parameter gerak tanah S_s dan S_1 .



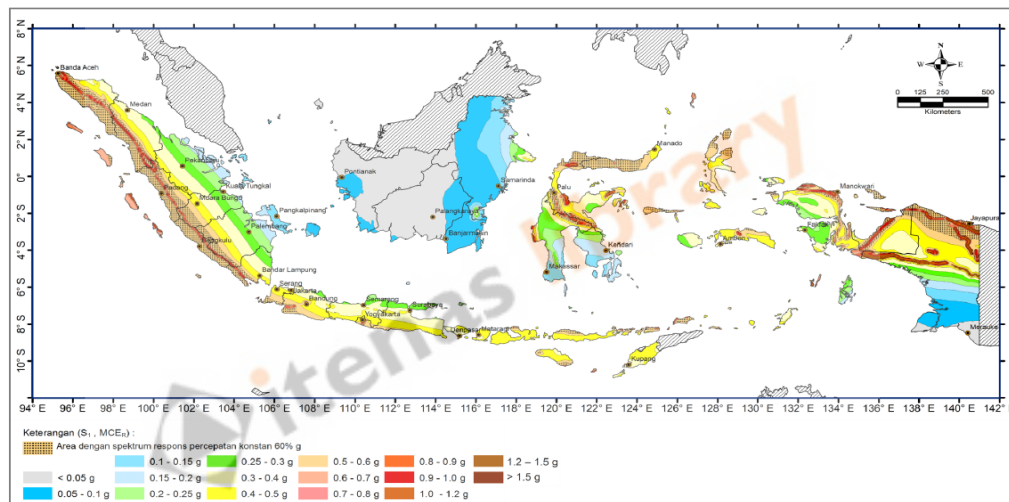
Gambar 2.1 S_s , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R), SNI 03-1726-2012.



Gambar 2.2 S_1 , Gempa maksimum yang di pertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R), SNI 03-1726-2012.



Gambar 2.3 S_s , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R), SNI 03-1726:2019.



Gambar 2.4 S_1 , Gempa maksimum yang di pertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R), SNI 03-1726:2012.

Untuk mendapatkan data Respons Spektrum yang digunakan dalam merencanakan gempa, dapat mengunjungi *website* Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman yaitu [puskim.pu.go.id/aplikasi desain spektra indonesia](http://puskim.pu.go.id/aplikasi%20desain%20spektra%20indonesia).

Penetapan kelas situs tanah harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat. Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi 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 SF (SNI 1726:2013).

$$S_{MS} = F_a S_s \quad S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

CATATAN :

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

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

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

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

Tabel 2.1 Koefisien Situs F_a berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019

KELAS SITUS	PARAMETER PERCEPATAN RESPONS SPEKTRAL MCER PADA PERIODE PENDEK (0,2 DETIK)					
SD	$S_s \leq 0,25$		$S_s = 0,5$		$S_s = 0,75$	
	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019
	1,6	1,6	1,4	1,4	1,2	1,2
	$S_s = 1,0$		$S_s \geq 1,25$		$S_s \geq 1,5$	
	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019
	1,1	1,1	1	1	1	1

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2.2 Koefisien Situs F_v berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019

KELAS SITUS	PARAMETER PERCEPATAN RESPONS SPEKTRAL MCER PADA PERIODE 1 DETIK					
SD	$S_1 = 0,1$		$S_1 = 0,2$		$S_1 = 0,3$	
	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019
	2,4	2,4	2	2,2	1,8	2
	$S_1 = 0,4$		$S_1 = 0,5$		$S_1 = 0,6$	
	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019	SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019
	1,6	1,9	1,5	1,8	1,5	1,7

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs- spesifik

2.3.3 Pemilihan Sistem Struktur

Pemilihan sistem struktur yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 tentang Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.

D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan	R^a	Ω_0^g	C_d^b
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	$2\frac{1}{2}$	4
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	$2\frac{1}{2}$	5
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	$2\frac{1}{2}$	4
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	$2\frac{1}{2}$	5
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	$7\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	6
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	$2\frac{1}{2}$	6
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	$2\frac{1}{2}$	5
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	$5\frac{1}{2}$	3	5
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	$3\frac{1}{2}$
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	$2\frac{1}{2}$	5
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	$2\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$

Gambar 2.5. R^a , Ω_0^g , C_d^b untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

CATATAN :

R^a = Koefisien modifikasi respons

Ω_0^g = Faktor kuat lebih sistem

C_d^b = Faktor pembesaran defleksi

2.3.4 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai **Tabel 2.3.** dan **Tabel 2.5.** pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa I_e menurut **Tabel 2.4.** dan **Tabel 2.6**

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 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, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat - Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. 	IV

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, [I_e]
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Tabel 2.5 Kategori Risiko Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2019

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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, angin badai, dan 	IV

tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabel 2.6 Faktor Keutamaan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, [I_e]
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.3.5 Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019, Periode fundamental pendekatan harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t \times h_n^x$$

CATATAN:

C_t = nilai koefisien BERDASARKAN Tabel 2.8.

h_n^x = tinggi struktur bangunan [m].

Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan, $T_{a \text{ minimum}}$.

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \times T_{a \text{ minimum}}$$

dengan:

C_u = nilai koefisien berdasarkan **Tabel 2.8**.

Tabel 2.7 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

Tabel 2.8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang di isyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
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

2.3.6 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 gaya geser seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut

$$V = C_s \times W$$

dengan:

C_s = koefisien respons seismik,

W = berat seismik efektif [kN].

Koefisien respons seismik, C_s hitung harus ditentukan sesuai dengan Persamaan :

$$C_{s \text{ hitung}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

dengan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek,

R = koefisien modifikasi respon, dicantumkan pada Gambar 2.1,

I_e = faktor keutamaan gempa, dicantumkan pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.6.

Nilai C_s yang dihitung tidak boleh lebih dari persamaan :

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

Nilai C_s yang dihitung tidak boleh kurang dari persamaan :

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

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana $S_1 \geq 0,6g$, maka C_s tidak boleh kurang dari :

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

2.3.7 Simpangan Antar lantai

Berdasarkan SNI 03-1726:2012 dan SNI 03-1726-2019 nilai simpangan antar lantai izin harus lebih besar dari selisih defleksi terbesar antar lantai. Persamaan defleksi pusat massa dapat dilihat pada persamaan

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

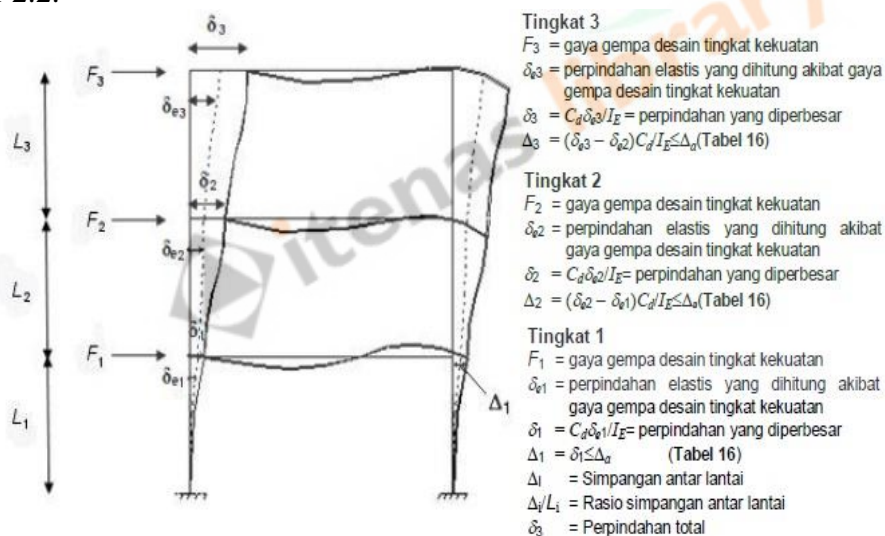
dengan:

C_d = faktor pembesaran defleksi, dicantumkan pada **Gambar 2.1**.

δ_{xe} = perpindahan maksimum pada lokasi lantai yang ditinjau (didapat langsung dari program ETABS 16.2.0) [mm],

I_e = faktor keutamaan gempa dapat, dicantumkan pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.6.

Perhitungan untuk mendapatkan simpangan antar lantai desain dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Persamaan simpangan antar lantai izin didasarkan pada kategori risiko dan ketinggian setiap tingkat (h_{sx}).

Tabel 2.9 Simpangan Antar Lantai Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$

eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat			
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

2.3.8 Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung melintang Terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujungstruktur. Ketidakberaturan torsi hanya berlaku untukstruktur dengan diafragma kaku atau setengah kaku. Dikarenakan pada penelitian kali ini pemodelan menggunakan diafragma kaku, maka harus diperiksa sifat ketidakberaturan torsi pada struktur. Perbandingan ketidakberaturan torsi berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Perbandingan Ketidakberaturan torsi berdasarkan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019

SNI 03-1726-2012	SNI 03-1726-2019
Ketidakberaturan torsi (1a) didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk torsi tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.
Ketidakberaturan torsi berlebihan (1b) didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

2.4 Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Menurut Prof. Ir. Bambang Budiono, M.E., Ph.D., keuntungan dan pertimbangan digunakannya material beton bertulang untuk bangunan tahan gempa, khususnya di Indonesia, adalah sebagai berikut. Pertama, material beton bertulang di Indonesia sangat mudah ditemukan dan dalam banyak kasus memiliki nilai yang lebih ekonomis dibandingkan dengan material lain, seperti baja profil. Kedua, proses konstruksi yang sederhana juga menyebabkan beton bertulang menjadi pilihan untuk kebanyakan struktur di Indonesia.

Untuk bangunan tinggi, biasanya digunakan sistem penahan lateral khusus, seperti rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus. Rangka pemikul momen khusus merupakan elemen balok dan kolom yang mampu mendisipasi energi saat terjadi gempa kuat. Dinding struktural khusus yang biasanya saling bekerja sama dengan bantuan balok perangkai pun banyak dipakai sebagai elemen penahan gaya lateral pada struktur bangunan tinggi karena kekakuannya yang besar.

2.4.1 Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan. Beton didapatkan dengan cara mencampur agregat halus, agregat kasar, atau jenis agregat lain dan air, dengan semen portland sebagai bahan pengikatnya. Beton mempunyai beberapa kelebihan diantaranya beton kuat menahan gaya tekan dan dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan. Namun, beton juga memiliki kekurangan yaitu beton dianggap tidak mampu menahan gaya Tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan sebagai penahan gaya Tarik pada beton.

2.4.2 Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan baja berbentuk silinder dengan permukaan polos dan sirip/ulir yang digunakan untuk penulangan beton. Baja tulangan diperlukan dalam struktur beton untuk menambah kekuatan tarik yang disebabkan oleh beban yang menumpu pada penampang.

2.4.2.1 Baja Tulangan Beton Polos (BJTP)

Merupakan baja tulangan dengan penampang lingkaran dan permukaan rata tanpa sirip. Tulangan jenis ini biasanya digunakan untuk tulangan sengkang dan mempunyai tegangan leleh 240 MPa.

2.4.2.2 Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BJTS/BJTD)

Merupakan baja tulangan beton dengan bentuk khusus dan permukaan bersisip untuk meningkatkan daya lekat batang terhadap beton. Sirip yang digunakan haruslah

teratur, dapat sejajar ataupun melintang arah sumbu batang. Biasa digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang.

2.5 Sistem Ganda

Menurut SNI 03-1726-2012, sistem ganda adalah sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing.

Dan menurut SNI 03-1726-2019, sistem ganda adalah sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan dinding geser atau oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan rangka bresing.

2.5.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Struktur rangka pemikul momen khusus adalah suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya dapat menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah dengan risiko gempa tinggi.

Berdasarkan SNI Beton 2847:2013 Pasal 21.5.1 bahwa komponen struktur SRPMK harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u harus memenuhi syarat dari:

$$P_u \leq A_g f'_c / 10 \quad (2.12)$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

$$l_n \geq 4d \quad (2.13)$$

3. Lebar penampang, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.

$$b_w \geq 0,3h \text{ atau } 250 \text{ mm} \quad (2.14)$$

4. Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom, ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi penampang kolom yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):
 - a. Lebar penampang kolom, dan
 - b. 0,75 kali dimensi kolom.

2.5.2 Dinding Geser

Gaya lateral dan gaya geser yang bekerja pada struktur konstruksi gedung seperti gaya-gaya yang disebabkan oleh beban angin ataupun beban gempa, memiliki kekuatan yang besar dengan arah yang tidak dapat diprediksi. Beban angin ataupun beban gempa yang diterima dapat menyebabkan struktur mengalami simpangan horizontal (*drift*). Salah satu metode yang

dapat dilakukan untuk mengurangi simpangan horizontal tersebut yaitu dengan pemasangan dinding geser.

Dinding geser adalah dinding slab beton bertulang yang dipasang secara vertikal pada posisi gedung untuk meningkatkan kinerja structural pada bangunan tinggi. Dalam struktur bertingkat tinggi, dinding geser memiliki beragam fungsi yaitu :

1. Menahan beban atau gaya lateral seperti gaya gempa dan angin yang bekerja pada bangunan.
2. Menyerap beban horizontal atau gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya suatu struktur.
3. Menambah kekakuan pada struktur.

2.6 Struktur Bangunan Asimetris

Menurut Syano Verdio Juvientrian dalam jurnalnya yang berjudul Analisis Bangunan Asimetris Terhadap Tinjauan Delatasi Akibat Gaya Horizontal, yang dimaksud dengan bangunan asimetris yaitu :

- a) Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral melebihi dari 10 tingkat atau 40 m.
- b) Denah struktur gedung berbentuk tidak beraturan atau persegi panjang yang memiliki tonjolan lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- c) Denah struktur gedung menunjukkan coakan sudut, dengan panjang sisi coakan tersebut melebihi 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- d) Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- e) Sistem struktur gedung menunjukkan loncatan bidang muka yang signifikan terhadap gedung sebelah bawahnya.
- f) Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang tidak beraturan, yaitu kekakuan lateral suatu tingkat melebihi 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau melebihi 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.

- g) Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral dengan perpindahan titik berat lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- h) Sistem struktur gedung memiliki lantai lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Jumlah lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

2.7 Perbandingan SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019

Berikut adalah tabel yang berisikan tentang perbedaan daripada SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019 yang berisikan data-data atau aturan yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2.11 Perbandingan SNI 1726:2012 dan SNI 03-1726-2019

No	Hal	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
1.	Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	Tidak terdapat Rumah Ibadah didalam setiap kategori risiko struktur bangunan	Terdapat Rumah Ibadah di dalam risiko kategori IV
2.	Kombinasi Pembebanan	1. $1,4 D$ 2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ 3. $1,2 D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ 4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ 5. $1,2 D + 1,0 E + L$ 6. $0,9 D + 1,0 W$ 7. $0,9 D + 1,0 E$	1. $1,4 D$ 2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ 3. $1,2 D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ 4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ 5. $0,9 D + 1,0 W$ 6. $1,2 D + Ev + Eh + L$ 7. $0,9 D - Ev + Eh$
3.	Nilai Koefisien Situs F_a		
	a. Kelas Situs SA		
	— $S_s \leq 0,25$	0,8	0,8
	— $S_s \leq 0,5$	0,8	0,8
	— $S_s \leq 0,75$	0,8	0,8
	— $S_s \leq 1,0$	0,8	0,8
	— $S_s \leq 1,25$	0,8	0,8
	— $S_s \leq 1,5$	-	0,8
	b. Kelas Situs SB		
	— $S_s \leq 0,25$	1,0	0,9
	— $S_s \leq 0,5$	1,0	0,9
	— $S_s \leq 0,75$	1,0	0,9
	— $S_s \leq 1,0$	1,0	0,9
	— $S_s \leq 1,25$	1,0	0,9
	— $S_s \leq 1,5$	-	0,9

Tabel 2.11 Lanjutan.

No	Hal	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
	c. Kelas Situs SC		
	— $S_s \leq 0,25$	1,2	1,3
	— $S_s \leq 0,5$	1,2	1,3
	— $S_s \leq 0,75$	1,1	1,2
	— $S_s \leq 1,0$	1,0	1,2
	— $S_s \leq 1,25$	1,0	1,2
	— $S_s \leq 1,5$	-	1,2
	d. Kelas Situs SD		
	— $S_s \leq 0,25$	1,6	1,6
	— $S_s \leq 0,5$	1,4	1,4
	— $S_s \leq 0,75$	1,2	1,2
	— $S_s \leq 1,0$	1,1	1,1
	— $S_s \leq 1,25$	1,0	1,0
	— $S_s \leq 1,5$	-	1,0
	e. Kelas Situs SE		
	— $S_s \leq 0,25$	2,5	2,4
	— $S_s \leq 0,5$	1,7	1,7
	— $S_s \leq 0,75$	1,2	1,3
	— $S_s \leq 1,0$	0,9	1,1
	— $S_s \leq 1,25$	0,9	0,9
	— $S_s \leq 1,5$	-	0,8
4.	Nilai Koefisien Situs Fv		
	a. Kelas Situs SA		
	— $S_1 \leq 0,1$	0,8	0,8
	— $S_1 \leq 0,2$	0,8	0,8
	— $S_1 \leq 0,3$	0,8	0,8
	— $S_1 \leq 0,4$	0,8	0,8
	— $S_1 \leq 0,5$	0,8	0,8
	— $S_1 \leq 0,6$	-	0,8
	b. Kelas Situs SB		
	— $S_1 \leq 0,1$	1,0	0,8
	— $S_1 \leq 0,2$	1,0	0,8
	— $S_1 \leq 0,3$	1,0	0,8
	— $S_1 \leq 0,4$	1,0	0,8
	— $S_1 \leq 0,5$	1,0	0,8
	— $S_1 \leq 0,6$	-	0,8
	c. Kelas Situs SC		
	— $S_1 \leq 0,1$	1,7	1,5
	— $S_1 \leq 0,2$	1,6	1,5
	— $S_1 \leq 0,3$	1,5	1,5
	— $S_1 \leq 0,4$	1,4	1,5
	— $S_1 \leq 0,5$	1,3	1,5
	— $S_1 \leq 0,6$	-	1,4

Tabel 2.11 Lanjutan.

No	Hal	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
	d. Kelas Situs SD		
	— $S1 \leq 0,1$	2,4	2,4
	— $S1 \leq 0,2$	2	2,2
	— $S1 \leq 0,3$	1,8	2,0
	— $S1 \leq 0,4$	1,6	1,9
	— $S1 \leq 0,5$	1,5	1,8
	— $S1 \leq 0,6$	-	1,7
	e. Kelas Situs SE		
	— $S1 \leq 0,1$	3,5	4,2
	— $S1 \leq 0,2$	3,2	3,3
	— $S1 \leq 0,3$	2,8	2,8
	— $S1 \leq 0,4$	2,4	2,4
	— $S1 \leq 0,5$	2,4	2,2
	— $S1 \leq 0,6$	-	2,0
5.	Nilai S_s di Kota Bandung	1,441	1,334
6.	Nilai S_1 di Kota Bandung	0,484	0,461
7.	Penskalaan Gaya Geser Dasar Seismik	0,85 V/V_t	1 V/V_t
8.	Jumlah Ragam	<p>Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.</p>	<p>Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari masa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (<i>single rigid body</i>) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.</p> <p>PENGECUALIAN sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal dan ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.</p>

Tabel 2.11 Lanjutan

No	Hal	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
9.	Spektrum Respons Desain		