

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan mengenai evaluasi *displacement* dengan menggunakan *time history* antara lain sebagai berikut ini.

- a. *Impact of artificially seismic loading on the response of building structure in various site classification* (Yansiku, 2017).
- b. Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung (Dilla dkk., 2017).
- c. Analisis Respon Spektra Kota Manado (Manaroinsing dkk., 2013).
- d. *Seismic risk analysis of multistory reinforced concrete structures in Saudi Arabia* (Ibrahim dkk., 2018).
- e. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis *Time History* pada Tinjauan *Drift* dan *Displacement* menggunakan *Software ETABS* (Pratama dkk., 2014).
- f. *Seismic Response Evaluation of Reinforced Concrete Building with Time History Analysis*. (Thwin, 2014).
- g. *Analysis of Wind & Earthquake Load for Different Shapes of High-Rise Building* (Rajmani dkk., 2014).
- h. *Horizontally connected high-rise buildings under earthquake loadings*. (Mahmoud, 2019).
- i. Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Riwayat Waktu menggunakan *Software ETABS 9.5* (Studi Kasus : Gedung Solo *Center Point*) (Sari dkk., 2013).
- j. Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan *Dinamik Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta (Faizah, 2015).
- k. *A Composite Building Isolation System for Earthquake Protection* (Almusbahi dkk., 2018)

2.2.1. Penelitian Terdahulu Menggunakan *Time History Analysis*

Yansiku (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan bantuan program *ETABS* dan *Seismomatch*. Dalam penelitian tersebut menggunakan 28 catatan gempa dan kelas situs B, C, D, dan E. Bangunan yang di uji memiliki 10 tingkat. Hasil penelitian yang didapat penelitian tersebut mengatakan bahwa program *ETABS* lebih baik dari pada menggunakan program *Seismomatch* dalam hal pencocokan spektra. Pengaruh yang terjadi pada bangunan tersebut menunjukkan hasil persentase perpindahan pada setiap kelas situs yang diuji dan kesimpulan tersebut memiliki perbedaan dampak dari setiap jenis respon oleh F.TEST menunjukkan pola yang tidak jelas, tetapi perubahan di kedua teknik mencapai lebih 77%.

Purba (2014) yang melakukan perbandingan kinerja struktur gedung ketidakberaturan horizontal dan gedung beraturan dilihat dari *displacement*, *drift ratio*, *base shear*, level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan berat beton dan tulangan, penelitian ini menggunakan metode statik ekuivalen dalam menganalisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan program SAP2000.

Mamesah dkk. (2014) juga melakukan analisis struktur gedung dengan *pushover analysis*. Analisis pushover atau analisis beban dorong statik merupakan suatu analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut. Tipe struktur bangunan yang dimodelkan berupa bangunan non soft story, *soft first story 1* dan *soft first story 2*. Bangunan terbuat dari beton bertulang, jarak bentang 6 meter, dengan ketinggian 10 lantai, tinggi tiap lantai 4 meter, dengan variasi ketinggian lantai dasar 6 meter untuk *soft first story 1* dan 7 meter untuk *soft first story 2*. Penelitian mengacu pada SNI 1726-2012, FEMA-356 dan ATC-40. Penelitian ini digunakan gedung bertingkat yang memiliki 12 lantai dengan dengan bantuan program *ETABS* untuk permodelan. Bentuk bangunan merupakan persegi panjang yang terletak di Mandalay, zona seismic 4 dengan kelas jenis tanah SF. Beban Mati dan hidup berdasarkan ACI 318-99. beban gempa dan gaya berdasarkan UBC-97. Dalam penelitian ini, *story*

drift, *story moment* dan *story shear* dibandingkan dengan pola beban yang berbeda dari analisis riwayat waktu. Stabilitas bangunan diperiksa sesuai dengan UBC-97. Dari perbandingan hasil, *story moment* tidak signifikan berbeda antara dua pola beban analisis riwayat waktu. Tetapi ada berbagai antara dua pola beban analisis riwayat waktu (Thwin W.T., 2014).

Manaroinsong (2013) melakukan penelitian dengan menganalisis respon spektra pada kota Manado dengan menggunakan 3 kelas situs SC, SD, dan SE. melalui PEER (Pacific Earthquake Engineering ResearchCenter) direkomendasikan menggunakan analisis time history. Catatan rekaman gempa yang digunakan ada 2 yaitu Hector Mine 1999-10-16 pada stasiun USGS, dan sebagai pembanding Imperial Valley 1940-5-19 pada stasiun El Centro USGS 117. asil analisis respon spektra kota Manado didasarkan pada target spektra untuk periode ulang 2500 tahun di $T=1,0$ detik sebagaimana yang disyaratkan oleh ASCE 7 2010 dengan metode spectral matching dan input time history Imperial Valley 19 Mei 1040 stasiun El Centro. Hasil analisis memberikan nilai respon spektra pada permukaan tanah untuk tanah keras (SC) = 0,13464 g, untuk tanah sedang (SD) = 0, 19064 g, dan untuk tanah lunak (SE) = 0,2054 g. Persamaan dari penelitian ini adalah menggunakan time history analysis dengan mencocokkan gempa yang paling mendekati dengan bantuan PEER. Kelas situs yang digunakan adalah SC, SD, dan SE. perbedaan dari penelitian ini hanya menganalisis respon spektra pada satu kota dan hanya mencari nilai respon spektra pada permukaan 3 kelas situs tanah.

Penelitian ini melakukan uji coba terhadap bangunan bertingkat dengan bentuk bangunan yang berbeda-beda. Langkah yang dilakukan peneliti pertama survei literatur, yang meliputi definisi, parameter desain, dan pertimbangan beban lateral gedung-gedung tinggi, disajikan. Bentuk bangunan meliputi bentuk melingkar, persegi panjang, persegi dan segitiga. Bangunan tersebut akan diuji dengan pembebanan gempa dan angin untuk melihat bentuk bangunan mana yang paling stabil. Hasil penelitian ini bangunan bentuk bangunan persegi panjang yang paling memiliki tingkat stabilitas yang paling stabil dibandingkan dengan bentuk yang lain (Rajmani dkk., 2015).

Ibrahim (2018) melakukan penelitian analisis kurva kerapuhan analitis untuk beton bertulang mid-rise yang di Kerajaan Arab Saudi (KSA). Kurva kerapuhan dikembangkan untuk struktur bangunan 12 lantai beton bertulang yang dirancang sesuai dengan Saudi Building Code termasuk beban mati, hidup dan seismik. Tiga kota yang dipilih dengan intensitas seismik yang berbeda, yaitu; Abha, Jazan dan Al-Sharaf agar mencakup berbagai nilai percepatan spektral yang dipetakan di KSA. Spektral 0,2 detik percepatan spektral berkisar dari 0,21 g sampai dengan 0,66 g, dan spektral 1,0 detik akselerasi berkisar dari 0,061 g sampai dengan 0,23 g. Analisis dinamis tambahan, IDA, dilakukan menggunakan 12 catatan rekaman gempa dengan bantuan program SeismoStruct. Lima tingkat kinerja; Operasional, Hunian Segera, Pengendalian Kerusakan, Keselamatan Jiwa dan Pencegahan Keruntuhan, yang menentukan berbagai kemungkinan kerusakan bangunan setelah gempa dipertimbangkan dan dimonitor dalam analisis. Berdasarkan hasil IDA dan statistik analisis, probabilitas untuk mencapai atau melampaui keadaan kerusakan spesifik dihitung untuk masing-masing model struktural pada tiga kota. Kesimpulan yang didapat menunjukkan bahwa sesuai dengan yang direncanakan.

Mahmoud (2019) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban gempa dinamis pada perilaku bangunan tinggi yang terhubung secara horizontal. Salah satu bangunan kembar diselidiki dalam penelitian ini adalah Menara Capital. Permodelan gedung menggunakan SAP2000. Penelitian ini menggunakan 8 catatan gempa dan dipilih yang paling mendekati gerakan di lokasi yang akan di uji. Hasil penelitian tersebut tingkat PGA dari gerakan gempa. Secara khusus, semakin tinggi PGA dari gerakan tanah, semakin tinggi gaya geser. Membangun struktur bawah gerakan gempa itu sedikit dipengaruhi oleh tingginya *sky-bridge*. Sebagian besar energi disalurkan ke struktur yang terhubung itu hilang oleh redaman modal.

Sari dkk. (2013) melakukan evaluasi kinerja struktur pada sebuah bangunan di Solo dengan menggunakan analisis riwayat waktu. Program *ETABS 9.5* digunakan untuk menganalisis model struktur bangunan dengan riwayat waktu untuk mendapat gempa masukan sesuai dengan wilayah gempa yang ditinjau. Lokasi bangunan terletak di kota Surakarta dan memiliki kelas situs tanah sedang

(D). Digunakan 4 rekaman yaitu Elcentro, Kobe, Hokkaido, dan Sanriku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan yang didapatkan masih memenuhi batas perpindahan maksimum ketika di analisis menggunakan masing-masing rekaman gempa. *Base Shear* yang ditimbulkan juga masih memenuhi syarat *base shear* minimum yaitu $V > 0.8 V_1$. Menurut ATC-40, bila struktur gedung diberi beban gempa El Centro, Kobe, Hokkaido, dan Sanriku, maka gedung termasuk dalam level kinerja IO (Immediate Occupancy), yaitu tidak ada kerusakan berarti pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Studi perbandingan pembebanan gempa statik ekuivalen dan dinamik *time history*, oleh Faizah (2015) menggunakan struktur bangunan bertingkat yang terletak di Yogyakarta dengan menggunakan jumlah portal yang ditinjau sebanyak 6 buah yaitu, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 lantai. Perbedaan elevasi tiap lantai yang digunakan 4 meter. Permodelan dibuat dengan bantuan *software SAP 2000*. Analisis dinamik *Time History* di analisis menggunakan bantuan program *Matlab*, dan analisis statik ekuivalen mengikuti aturan dalam SNI 1726:2012. Gempa masukan yang digunakan yaitu akselogram gempa Yogya 2006 yang merupakan replikasi yang diperoleh dari Widodo, 2013. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa Perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen pada struktur 5 tingkat dinilai akurat karena memberikan persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur jika dibandingkan dengan pembebanan gempa dinamik *time history*. Perhitungan pembebanan gempa statik ekuivalen pada struktur 10 tingkat atau lebih dinilai berbanding terbalik pada struktur 5 tingkat dikarenakan peryaratannya yang lebih kecil dalam perancangan struktur.

Almusbahi dkk. (2018) telah melakukan penelitian dengan menggunakan sebuah bangunan 40 lantai dengan permodelan dan analisis menggunakan bantuan *software ANSYS*. Gempa masukan menggunakan 2 rekaman gempa yaitu El Centro dan Taft Earthquake. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perpindahan, kecepatan dan percepatan dari tiap lantai sangat berkurang dengan meningkatnya kekakuan struktur. Perpindahan yang dihasilkan meningkat dengan waktu secara khusus dari lantai terakhir dan dari struktur terisolasi dasar.

2.2. Dasar Teori

Berdasarkan dasar teori yang digunakan meliputi beberapa standardisasi dan spesifikasi yang terdapat pada peraturan dan ketentuan yang ada. Peraturan maupun ketentuan yang digunakan meliputi Standar Nasional Indonesia (SNI), Buku Peta Gempa 2017, dan beberapa jurnal yang terkait.

2.2.1. Beban Mati

Beban mati merupakan berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang yaitu meliputi dinding, lantai, atap, dan komponen arsitektural lainnya. Definisi tersebut sesuai dengan SNI 1727:2013.

Beban yang diberikan pada bangunan gedung ini berdasarkan SNI 03-1727-1989 yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Material Bangunan (BSN, 1989)

BAHAN BANGUNAN	BEBAN
Baja	7,850 kg/m ³
Batu alam	2,600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1,500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	7,00 kg/m ³
Batu pecah	1,450 kg/m ³
Besi uang	7,250 kg/m ³
Beton (¹)	2,200 kg/m ³
Beton bertulang (²)	2,400 kg/m ³
Kayu (Kelas 1) (³)	1,000 kg/m ³
Kerikil, koral, (kering udara sampai lembab, tanpa d	1,650 kg/m ³

Tabel 2.2 Lanjutan Berat Sendiri Bahan Material Bangunan (BSN, 1989)

BAHAN BANGUNAN	BEBAN
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2,200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2,200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1,450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1,600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1,800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1,850 kg/m ³
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai len)	1,700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2,000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11,400 kg/m ³

Tabel 2.3 Berat Sendiri Komponen Struktur Gedung (BSN, 1989)

KOMPONEN GEDUNG	BAHAN
Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu batu	4,50 kg/m ²
- setengah batu	2,50 kg/m ²
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	2,00 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	1,20 kg/m ²
Tanpa lubang:	
- tebal dinding 15 cm	3,00 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	2,00 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (etemit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal maksimum 3 - 5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²

Tabel 2.4 Lanjutan Berat Sendiri Komponen Struktur Gedung (BSN, 1989)

KOMPONEN GEDUNG	BAHAN
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,8 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, perm ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa usuk	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Catatan :

- 1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.
- 2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat, dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan sendiri.
- 3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat Pedoman Konstruksi Kayu.

2.2.2. Beban Hidup

Pada peraturan SNI 1727:2013, beban hidup merupakan beban yang terjadi oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2013 untuk beban lantai dengan kegunaan ruang kuliah sebesar 250 kg/m², untuk beban atap sebesar 100 kg/m².

2.2.3. Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

2.2.3.1 Kategori Resiko Struktur Bangunan

Pada peraturan tentang SNI 1727:2013 untuk kategori resiko dibagi menjadi 4 menurut jenis pemanfaatan bangunan atau fungsi bangunan. Kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas (pertanian, perkebunan, perternakan, perikanan, dan sementara), gudang penyimpanan, rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk perumahan, rumah toko, rumah kantor, pasar, gedung perkantoran, gedung apartemen, pusat perbelanjaan, bangunan industry, fasilitas manufaktur, dan pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk bioskop, gedung pertemuan, stadion, fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, fasilitas penitipan anak, penjara, bangunan untuk orang jompo	III
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk pusat pembangkit listrik biasa, fasilitas penanganan air, fasilitas penanganan limbah, dan pusat telekomunikasi	IV

Tabel 2. 6 Lanjutan Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas Manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<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 garasikendaraan 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 	IV

Tabel 2. 7 Lanjutan Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (BSN, 2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>-Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 2.8 menunjukkan hubungan kategori resiko gempa dengan faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.8 Hubungan antara Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (BSN, 2012)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I & II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.2.3.2 Klasifikasi Situs

Kelas situs merupakan klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah dilapangan. Parameter untuk pengklasifikasian jenis tanah antara lain. Kecepatan rambat gelombang rerata tanah, hasil uji NSPT, hasil uji CPT. Berikut pada Tabel 2.9 merupakan hubungan nilai parameter tersebut dengan klasifikasi situs.

Tabel 2.9 Klasifikasi Situs (BSN, 2012)

Kelas situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	Kurang dari 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 – 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,		
	2. Kadar air, $w > 40\%$		
	3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ 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:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)		
	Lapisan lempung lunak dengan ketebalan $H > 35$ m.		

2.2.3.3 Penentuan Nilai Respons Spektra

Pada setiap daerah di Indonesia ini memiliki respon spektra yang berbeda-beda akibat adanya kemungkinan perbedaan kejadian gempa daerah satu dengan yang lainnya. Dalam mendesain sebuah bangunan bertingkat tinggi diperlukan penentuan untuk nilai respons spektra pada percepatan periode pendek yaitu 0,2 detik dan pada percepatan periode 1 detik. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan melihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2.10 Koefisien Situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS		

Tabel 2.11 Koefisien Situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I > 0,25$
SA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
SB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SC	1,70	1,60	1,50	1,40	1,30
SD	2,40	2,00	1,80	1,60	1,50
SE	3,50	3,20	2,80	2,40	2,40
SF			SS		

Catatan :

- Nilai S_s dan S_I yang tidak terdapat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11 dapat dicari menggunakan cara interpolasi linier.
- Kelas situs SF merupakan situs yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

2.2.3.4 Kategori desain seismik

Sebuah struktur bangunan harus ditetapkan untuk memiliki kategori desain seismik yang sesuai dengan ketentuan dibawah ini:

- Untuk bangunsn dengan kategori risiko I, II, atau III dengan persyaratan nilai $S_I \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai bangunan dengan kategori desain seismik *E*.
- Untuk struktur dengan kategori resiko IV dengan nilai $S_I \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *F*.

Seluruh bagian struktur lainnya juga harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Setiap bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih besar dengan kategori resiko seperti pada Tabel 2.12 dan Tabel 2.13 berikut.

Tabel 2.12 Kategori resiko berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 0.2 detik (BSN, 2012)

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

Tabel 2.13 Kategori resiko berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik (BSN, 2012)

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 1,33$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

2.2.3.5 Parameter dan Pemilihan sistem gedung

Pada SNI 1726:2012 memberikan suatu batasan pada sistem struktur dan pada batasan ketinggian dari struktur yang ditunjukkan pada Tabel 2.14. Pada tabel tersebut terdapat sedikit contoh dari seluruh jenis sistem beton bertulang penahan gaya gempa. Pada Tabel 2.14 akan didapatkan 3 jenis faktor yang akan digunakan untuk menghitung beban lateral yaitu respons R , faktor kuat lebih sistem Ω_0 , dan faktor pembesaran defleksi C_d .

Tabel 2.14 Faktor R , Cd , dan : 0 untuk sistem penahan gaya gempa
(BSN, 2012)

Sistem penahan gaya gempa	Ra	$\Omega 0$	Cd	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m)					
				B	C	D	E	F	
A Sistem dinding penumpu									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30	
2 Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI	
3 Dinding geser beton polos didetail	2	2,5	2	TB	TI	TI	TI	TI	
B Sistem Rangka									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30	
2 Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI	
3 Dinding geser pracetak menengah	5	2,5	4,5	TB	TB	12	12	12	
C Sistem rangka pemikul momen									
1 Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	
2 Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI	
3 Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	
D Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus									
1 Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	
2 Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI	

Catatan : TB = tidak dibatasi ; TI = tidak diijinkan

2.2.3.6 Prosedur analisis

Adapun batasan yang diberikan oleh SNI 1726:2012 yaitu dalam analisis dalam beban gempa tentang langkah analisis atau metode yang diijinkan untuk digunakan. Pada Tabel 2.15 dapat dilihat tentang hubungan kategori desain seismik dengan karakteristik struktur berikut ini.

Tabel 2.15 Prosedur Analisis yang diijinkan (BSN, 2012)

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respons seismik Pasal 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingka	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidakmelebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakraturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakraturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	TI	TI

CATATAN I: Diijinkan, TI: Tidak Diijinkan

2.2.3.7 Prosedur Gaya Lateral Ekvivalen

3.1 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus sesuai pada persamaan berikut. (SNI 1726:2012)

$$V = C_s \cdot W \tag{2.1}$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

V = Gaya geser dasar seismik

W = Berat seismik efektif

3.2 Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \tag{2.2}$$

Koefisien Respons Maksimum

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{2.3}$$

Perhitungan Koefisien Respon Minimum

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \tag{2.2}$$

Untuk struktur yang berlokasi di wilayah dimana $S_I \geq 0,6g$ harus tidak diijinkan kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{2.5}$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode 0,2 detik

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

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutaman gempa

T = Periode fundamental gedung (detik)

2.2.3.8 Periode Fundamental Pendekatan

Dalam SNI Gempa 2012 memberi persyaratan Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) didapat dari Tabel 2.16 Periode fundamental pendekatan (T_a) harus sesuai dengan persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.3)$$

Catatan :

h_n adalah ketinggian struktur (meter) sedang untuk nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 2.17

Tabel 2.16 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung
(BSN, 2012)

Parameter percepatan respon spektral desain pada periode 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,40$	1,40
0,30	1,40
0,20	1,50
0,15	1,60
$\leq 0,10$	1,70

Tabel 2.17 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (BSN, 2012)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi/dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
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

2.2.3.9 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Dalam SNI Gempa 2012 menyatakan Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2.4)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
- V = Gaya geser struktur (Kn)
- h_i dan h_x = Tinggi tingkat i atau x yang diukur dari dasar struktur (m)
- w_i dan w_x = Berat seismik efektif total struktur (W)
- k = Eksponen yang berhubungan pada struktur, untuk perioda $\leq 0,5$ detik menggunakan $k = 1$, untuk perioda sebesar $\geq 2,5$ menggunakan $k = 2$, untuk perioda antara 0,5 dan 2,5 detik nilai k harus dicari dengan cara interpolasi.

2.2.3.10 Batasan Simpang antar Lantai

Batasan simpang antar lantai tingkat desain (Δ) pada penelitian ini didapatkan melalui *software SAP2000*. Menurut katategori risiko struktur yang ditunjukkan pada tabel 2.18 perpindahan antar lantai tidak diperbolehkan melewati perpindahan antar ijin (Δ_a).

Tabel 2.18 Simpangan Antar Lantai Ijin (BSN, 2012)

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

Catatan : h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

2.2.3.11 Kombinasi Pembebanan

Dalam SNI 1726:2012, dengan mengalikan faktor pengali yang digunakan untuk dibebankan pada pengaruh beban gempa horizontal.

$$E_h = Q_E \rho \dots\dots\dots(2.6)$$

$$E_h = 0,2 S_{DS} D \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

ρ = Faktor redundansi

Q_E = Pengaruh gaya gempa horisontal dari gaya dasar (V)

D = Pengaruh beban mati/*dead load*

Kombinasi pembebanan

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + L \dots\dots\dots(2.8)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + Q_E \rho + 1,6H \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan catatan :

- 1) Beban hidup (L) merata untuk semua hunian $\leq 5 \text{ kN/m}^2$, kecuali garasi atau ruang pertemuan.
- 2) Untuk faktor beban (H) ditetapkan = 0, jika aksi pada bangunan akibat (H) berlawanan aksi struktur akibat (E), jika sebaliknya tekanan tersebut harus dimasukkan dalam tahanan desain dan tidak boleh dimasukkan ke dalam (H).