

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Gempa bumi merupakan getaran pada permukaan bumi, yang terjadi diakibatkan pelepasan energi yang berlangsung secara tiba-tiba, sehingga tercipta gelombang seismik ke segala arah yang merambat menjauhi pusat gempa. Penyebab lain terjadinya gempa bumi dikarenakan pergerakan kerak atau lempeng bumi. Frekuensi suatu wilayah, mengacu pada ukuran dan jenis gempa bumi yang terjadi selama periode waktu. Gempa bumi merambat dalam bentuk gelombang yang mempunyai suatu energi untuk dapat menyebabkan bangunan dan permukaan di atasnya bergetar. Getaran tersebut nantinya akan memunculkan gaya-gaya pada struktur bangunan yang cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. (Schodek, 1999)

Berdasarkan SNI-1726-2002, untuk perencanaan struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh gempa statik ekuivalen, sehingga berdasarkan standar ini analisis dilakukan menggunakan analisis statik ekuivalen (pasal 4.2.1). Sedangkan perencanaan struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik.

Dewobroto (2006) menyatakan bahwa kinerja suatu bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas adalah salah satu hal penting. Kinerja tersebut terdiri dari taraf kerusakan yang diizinkan atau level kinerja (*performanve level*) dari bangunan dan kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*).

Suatu bangunan harus memiliki struktur yang dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan, sehingga struktur bangunan dapat bertahan ketika terkena gempa. Paulay (1998) menyatakan bahwa tingkat layanan suatu struktur gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu sebagai berikut ini.

##### a. *Serviceability*

Batas layan suatu struktur yang terkena gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang besar yang mengenai struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan. Dalam merencanakan strukt

harus diperhatikan kontrol dan batas simpangan (*drift*) yang terjadi saat gempa, serta harus menjamin komponen struktur cukup kuat untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis. Sehingga kerusakan dapat di minimalisir dan bahkan tidak terjadi kerusakan pada elemen struktur maupun non-struktur.

b. Kontrol kerusakan

Batas layan suatu struktur ketika mengalami gempa dengan waktu ulang sesuai dengan masa rencanan atau umur bangunan, maka struktur harus direncanakan untuk bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami kerusakan pada elemen struktur maupun non-struktur, dan diharapkan berada dalam batas elastis.

c. *Survival*

Batas layan suatu struktur ketika mengalami gempa dengan waktu ulang sesuai dengan masa rencanan atau umur bangunan, maka struktur harus direncanakan untuk bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan dan kerusakan (*colapse*). Tujuan utama dari batas layan ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

Schodek (1999) menyatakan struktur stabil adalah struktur jika dikenakan beban akan mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) yang lebih kecil dibandingkan struktur tidak stabil. Hal tersebut dikarenakan pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban.

### 2.1.1 Penelitian Terdahulu

Purnomo, dkk (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan *software ETABS* (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang)”. Tujuan penelitian untuk mengetahui keamanan sebuah gedung ditinjau dari *displacement*, *drift* dan *base shear*. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamik *response spectrum* dan analisis statik ekuivalen dengan *software ETABS*. Dilakukan pemodelan struktur gedung hotel di Semarang dengan tinggi 10 lantai. Maka didapatkan nilai *displacement* lantai teratas pada arah X adalah 0.0573 m dan arah Y adalah 0,0557 m. Dalam analisis nilai *displacement* dengan syarat kinerja

layan  $\{(0,03/R) \times H\}$  pada bangunan hotel terhadap pengaruh beban gempa rencana arah X sudah memenuhi syarat, sedangkan pengaruh beban gempa rencana Y khusus di lantai teratas tidak memenuhi syarat kinerja batas layan.

Pratama, dkk (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis *Time History* pada Tinjauan *Drift* dan *Displacement* Menggunakan *Software ETABS*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung berdasarkan *drift* dan *displacement* sesuai dengan kinerja. Pada penelitian ini digunakan analisis riwayat waktu dengan 4 rekaman gempa asli yaitu gempa taiwan, gempa el centro, gempa sumatera, dan gempa friuli. *Software* yang digunakan adalah *ETABS* untuk memodelkan gedung 10 lantai secara tiga dimensi. Maka didapat dari hasil penelitian ini berdasarkan analisis riwayat waktu untuk gempa rencana rekaman gempa el centro terdapat tiga lantai tidak aman pada arah Y, sedangkan untuk gempa aktual rekaman el centro terdapat 8 lantai pada arah X dan 7 lantai pada arah Y yang tidak aman terhadap terhadap kontrol batas layan dan ultimit.

Anggen, dkk (2014) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik *Time History* menggunakan *ETABS* (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)”. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan *drift* dan *interstory drift* terhadap pengaruh gempa rencana dan aktual pada bangunan hotel bertingkat di Karanganyar menggunakan *software ETABS* untuk memodelkan bangunan secara 3D. Pada level gempa rencana menggunakan analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen sebagai pembanding. Maka didapatkan hasil dari penelitian analisis gempa aktual (linear dinamik *time history*) berdasarkan *interstory drift* izin pada batas layan 1,37 dan 6,40 cm adalah struktur dari lantai 1 – 10 tidak aman pada arah X dan arah Y menurut Gempa *Elcentro*, struktur aman untuk arah X dan struktur tidak aman pada lantai 10 dan atap untuk arah Y pada Gempa *Northridge*, dan struktur aman untuk arah X dan arah Y pada Gempa Mentawai. Sehingga didapat *maximum total drift* akibat Gempa *Elcentro* 0,0158 (arah Y) dan 0,0117 (arah X) adalah struktur gedung termasuk ke dalam kategori *damage control* akibat Gempa Mentawai dan *Northridge*, sedangkan akibat Gempa *Northridge* dan Gempa Mentawai masuk kategori *immediate occupy*.

Rendra, dkk (2015) melakukan penelitian dengan judul “Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum dan *Time History*”. Pada penelitian ini menggunakan dua metode dinamik yaitu Metode Respon Spektrum dan *Time History* yang bertujuan menemukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja, serta mengetahui perilaku pada struktur akibat pengaruh gempa. Struktur yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Gedung Hotel SKA Pekanbaru. Hasil dari penelitian ini adalah waktu getar alami *fundamental* struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru masih melampaui waktu getar alami fundamental yang ditentukan oleh SNI 1726-2012 sebesar 6,950 detik (struktur gedung tanpa *shearwall*) dan 4,637 detik (struktur gedung dengan *shearwall*).

Bayyinah (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung”. Pada penelitian ini menggunakan Metode Respon Spektrum dan Metode *Time History* pada desain 3D gedung 12 lantai ditambah *Basement*. tahap modeling desain bangunan menggunakan *software* SAP2000. Tujuan penelitian adalah menemukan perbandingan nilai *base shear* dan *drift* dari kedua metode tersebut. Sehingga didapatkan hasil nilai *base shear* Metode Respon Spektrum lebih besar dari analisis Metode *Time History*, yaitu sebesar 11621,343 KN arah X dan 12038,64 KN arah Y. Sedangkan analisis simpangan disain gedung menggunakan Metode Respon Spektrum aman terhadap simpangan ijin. Kemudian dievaluasi dengan Metode *Time History* menunjukkan hasil aman, namun pada simpangan arah X dan arah Y gempa imperial valley melebihi simpangan Metode Respon Spektrum.

Patil, dkk (2013) melakukan penelitian dengan judul “*Seismic Analysis of High-Rise Building by Response Spectrum Method*”. Dalam penelitian ini menjelaskan *seismic analysis* dengan menggunakan *software* STAADPro. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan *base shear*, *story drift*, dan *story deflection* agar menemukan sistem penahan beban lateral yang efektif. Pengujian ini menggunakan tiga jenis rangka gedung, yaitu *shear wall frame*, *brace frame*, dan *bare frame* yang kemudian dianalisis dengan Metode Respon Spektrum. Maka hasil dari penelitian ini adalah model dengan rangka *shear wall* berada diluar arah X dan Z paling efektif dalam menahan beban lateral karena menunjukkan nilai defleksi paling sedikit daripada model yang lain.

Febbrian, dkk (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan *Base Share*, *Displacement*, dan *Drift* Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)”. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui langkah-langkah evaluasi kinerja gempa pada struktur gedung bertingkat dengan menggunakan analisis dinamik Metode Respon Spektrum berdasarkan *base shear*, *displacement*, dan *drift* untuk kategori level *Immediate Occupancy*. Analisis dinamik respon spektrum yang dilakukan pada arah X dan arah Y menghasilkan V dinamik lebih besar dari 0.85 V statik, sehingga struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana memenuhi syarat di dalam SNI 03-1726-2012. Berdasarkan nilai *displacement* pada arah X dan arah Y, maka didapatkan bahwa simpangan antar tingkat akibat gempa rencana lebih kecil dari  $(0.03/R)H$  sehingga aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan. Sedangkan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat gempa rencana dalam kondisi gedung diambang keruntuhan lebih kecil dari  $0,02H$  sehingga struktur gedung aman.

Listyorini, dkk (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Analisis *Time History* (Studi Kasus : Gedung Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta)”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja sebuah struktur bangunan tanpa menggunakan *shear wall* dengan bangunan yang menggunakan *shear wall* berdasarkan nilai simpangan yang dipengaruhi gempa rencana. Studi kasus pada penelitian ini adalah rumah sakit di Yogyakarta, dimana pemodelan struktur gedung menggunakan *software* ETABS V9.5.0. Analisis struktur gedung menggunakan dua metode yaitu, metode dinamik *time history* dan metode statik ekuivalen. Hasil dari penelitian ini menjelaskan pada analisis *time history* menggunakan rekam gempa Sumatera, Elcentro, Chichi dan Friuli simpangan yang terjadi pada gedung baik menggunakan *shear wall* ataupun tidak menggunakan *shear wall* memenuhi persyaratan simpang ijin kecuali pada gempa Supersition Hills.

Choudhary, dkk (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Dynamic Analysis of Multistory Building Using Response Spectrum Method and Seismic Co-efficient Method-A Comparison*”. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan

*base shear* antara menggunakan *seismic co-efficient method* dan respon spektrum dengan benda uji yang digunakan berupa gedung bertingkat G+10. Analisis *seismic co-efficient* menggunakan perhitungan manual dengan rumus codal, sedangkan analisis respon spektrum menggunakan *software STAAD-PRO-V8i*. Sehingga hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai *base shear* yang dihasilkan *seismic co-efficient* lebih kecil dari analisis respon spektrum.

Faizah (2015) melakukan sebuah penelitian ini yang berjudul “Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta”. Pada penelitian ini memperhatikan perbandingan pola distribusi dari gaya leteral tingkat, gaya lateral tingkat, dan gaya geser dasar. Perhitungan pembebanan gempa dengan analisis static ekuivalen pada struktur 5 tingkat dinilai akurat karena dapat memberikan persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur gedung, jika dibandingkan dengan pembebanan gempa analisis dinamik *time history*. Perhitungan pembebanan gempa ekuivalen static pada struktur 10 tingkat atau lebih dinilai tidak memberikan keakuratan karena persyaratan yang lebih kecil dalam perancangan struktur jika dibandingkan dengan pembebanan gempa *time history*.

### 2.1.2 Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Pada penelitian terdahulu dan sekarang memiliki beberapa perbedaan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
1	Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan <i>Software ETABS</i> (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang)	2014	<i>Software ETABS</i>	<i>Software SAP2000</i>	Analisis dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
2	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis <i>Time History</i> pada Tinjauan <i>Drift</i> dan <i>Displacement</i> Menggunakan <i>Software ETABS</i>	2014	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
3	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik <i>Time History</i> Menggunakan <i>ETABS</i> (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)	2014	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis statik ekuivalen dan dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
4	Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum dan <i>Time History</i>	2015	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro, Gempa Mentawai, Gempa Aceh dan Gempa Padang	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
5	Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan <i>Time History</i> untuk Desain Gedung	2017	<i>Software SAP2000</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley, Gempa Aceh dan Tabas.	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
6	<i>Seismic Analysis of High-Rise Building by</i>	2013	<i>Software STAADPro</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
	<i>Response Spectrum Method</i>					<i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
7	Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan <i>Base Share</i> , <i>Displacement</i> , dan <i>Drift</i> Menggunakan <i>Software ETABS</i> (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)	2014	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
8	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Analisis <i>Time History</i> (Studi Kasus : Gedung Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta)	2015	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik <i>time history</i> Sumatera, Imperial Valley El Centro, Chichi dan Friuli	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
9	<i>Dynamic Analysis of Multistory Building Using Response Spectrum Method and Seismic Coefficient Method-A Comparison</i>	2016	<i>Software STAADPro</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>seismic coefficient method</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi
10	Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik <i>Time History</i> pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta	2015	<i>Software ETABS</i>	<i>Software ETABS</i>	Analisis statik ekuivalen dan dinamik <i>time history</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Kobe, Imperial Valley dan Chi-Chi

## 2.2 Dasar Teori

### 2.3.1 Analisis Gempa

Pada umumnya dalam analisis struktur terhadap beban gempa terbagi menjadi dua macam, sebagai berikut.

- a. Analisis statik ekuivalen merupakan suatu analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur bangunan dianggap sebagai beban static secara horizontal yang diperoleh dengan memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Biasanya pendistribusian gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik.
- b. Analisis dinamik merupakan analisis struktur bangunan yang mana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat didapatkan dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur bangunan.
  - 1) Analisis *time history* merupakan analisis dinamis pada model struktur bangunan yang diberikan suatu catatan rekaman gempa dengan respon spektrum dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.
  - 2) Analisis respon spektrum merupakan analisis dinamis yang mana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing getar.

### 2.3.2 Metode Analisis Respon Spektrum

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafik/hubungan antara periode getar struktur  $T$ , dari respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon maksimum dapat berupa *spectral displacement* (simpangan maksimum,  $SD$ ), *spectral velocity* (kecepatan maksimum,  $SV$ ), atau *spectral acceleration* (percepatan maksimum,  $SA$ ) dan massa struktur *single degree of freedom (SDOF)*, (Widido, 2001). Faktor respons gempa dinyatakan dalam bentuk percepatan gravitasi dengan nilai bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya dijelaskan dalam respon spektra desain.

- a. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Pengaruh gempa rencana terhadap risiko struktur bangunan dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  ada pada Tabel 2.3, dan koefisien modifikasi respons  $R$ , faktor kuat lebih sistem  $\Omega_0$ , dan koefisien defleksi  $C_d$  dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 2 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>Gedung dan non gedung yang dimiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, anantara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan.</li> <li>- Fasilitas sementara.</li> <li>- Gedung penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> </ul>	III

(Sumber : SNI 1726-2012)

Lanjutan Tabel 2.1 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III
<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 diisyaratkan 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"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV

(Sumber : SNI 1726-2012)

Lanjutan Tabel 2.1 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- 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	

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2. 4 Faktor R, Cd, dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem Penahan Gaya Gempa	Koefisien Modifikasi Respons, $R$	Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0$	Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d$
Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5
Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4
Dinding geser beton polos detail	2	2,5	2
Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5
Dinding geser beton polos menengah	4	2,5	4
Dinding geser pracetak biasa	3	2,5	3
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2,5	3,5
Dinding geser batu bata bertulang menengah	3,5	2,5	2,5
Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2,5	1,75

(Sumber : SNI 1726-2012)

b. Parameter respon spektra percepatan gempa

Parameter  $S_{DS}$  digunakan untuk percepatan batuan dasar pada periode pendek dan  $S_{DI}$  percepatan batuan dasar ketika periode 1 detik, didapat persamaan 2.1 dan 2.2. Respon spektrum yang akan digambarkan ke dalam grafik dapat dibuat dengan mengarah pada nilai parameter respon spektra yang telah dihitung ( $S_a$ ,  $S_{DS}$ ,  $T_0$ , dan  $T_s$ ). Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \quad (2.1)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \quad (2.2)$$

Tabel 2. 5 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
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			$SS^b$		

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2. 6 Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik $S_s$				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			$SS^b$		

(Sumber : SNI 1726-2012)

c. Parameter respon spektra percepatan gempa

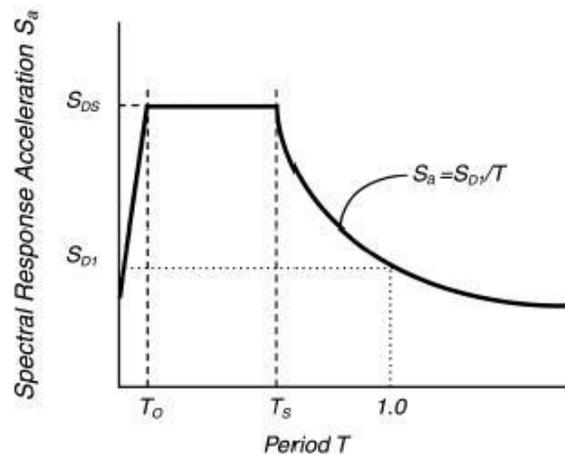
Data tanah lokasi struktur gedung tidak diperlukan, jika desain respon spektrum telah menggunakan prosedur ini. Kurva untuk desain respon spektrum harus mengacu pada Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan dibawah ini.

- 1) Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ), harus diambil persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.3)$$

- 2) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
- 3) Untuk periode lebih besar  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan;

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.4)$$



Gambar 2. 1 Spektrum respon desain

(Sumber : SNI 1726-2012)

### 2.3.3 Metode Analisis *Time History*

Analisis *time history* atau riwayat waktu adalah suatu cara analisis gempa dinamik untuk struktur bangunan, dimana struktur di riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa hasil tiruan terhadap waktu respon struktur yang ditinjau dengan suatu model matematik.

#### a. Koefisien Situs

Data percepatan permukaan tanah (PGA) dalam bentuk akselerogram yang berupa grafik perbandingan percepatan permukaan tanah dengan waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Data tersebut yang akan menjadi parameter gempa masukan terhadap suatu perencanaan atau analisis struktur. Gaya gempa masukan yang digunakan berupa percepatan maksimum tanah dari rekaman gempa yang ada. Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$PGAM = FPG \times PGA \quad (2.5)$$

Tabel 2. 7 Koefisien Situs, FPGA

Kelas Situs	PGA $\leq$ 0,1	PGA=0,2	PGA=0,36	PGA=0,4	PGA $\geq$ 0,5
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	Lihat 6,9				

(Sumber : SNI 1726-2012)

## b. Akselogram Gempa Masukan

Pada data rekaman percepatan tanah yang digunakan harus sesuai dengan rekaman peristiwa gempa yang memiliki jarak patahan, magnitudo, dan mekanisme sumber gempa dengan konsisten pada hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum. Setiap data rekaman tersebut diskalakan hingga pada rentang perioda dari 0.2T hingga 1,5T. Percepatan gempa pilihan dimodifikasi menggunakan program bantu *SeismoMatch* agar respon spektrumnya Konverge dengan respon spektrum elastik desain. Berdasarkan pada RSNI 1726:2018 disyaratkan jumlah minimal 3 akselogram gempa yang digunakan untuk analisis *time history* yang bertujuan untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi yang kita gunakan.

**2.3.4 Batasan Kinerja Struktur**

Simpangan antar tingkat lantai ( $\Delta$ ) tidak diizinkan melebihi simpangan antara tingkat lantai ijin ( $\Delta_a$ ), batas ijin simpangan pada setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Batas Ijin Simpangan

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktru selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior 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 batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,0105 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

(Sumber : SNI 1726-2012)

Simpangan antar lantai untuk analisis statik dan dinamik menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8, 7.9, dan 7.12 penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan ditinjau oleh model. Defleksi pusat massa di tingkat-x ( $\delta$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta = \frac{Cd \times \delta e}{le} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$Cd$  = faktor amplikasi defleksi

$\Delta e$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan

$le$  = faktor keutamaan gempa

### 2.3.5 Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2012, periode fundamental struktur gedung ( $T$ ), pada arah yang ditinjau diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur gedung ( $T$ ) tidak diizinkan melebihi hasil koefisien batasan atas untuk periode ( $Cu$ ) dari Tabel 2.9 dan periode fundamental pendekatan dalam detik ( $Ta$ ) yang ditentukan sesuai persamaan 2.7, dan  $Ct$  dan  $x$  ditentukan Tabel 2.10.

$$Ta = Ct \times hn^x \quad (2.7)$$

Tabel 2. 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

<b>Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, <math>S_{D1}</math></b>	<b>Koefisien <math>Cu</math></b>
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726-2012)

Tabel 2. 10 Nilai parameter perioda pendekatan Ct dan X

Tipe Struktur	Ct	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan 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 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

(Sumber : SNI 1726-2012)

### 2.3.6 Geser Dasar Seismik Batasan

Berdasarkan SNI 1726:2012, Gaya geser seismic pada arah yang ditetapkan harus sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \times W \quad (2.8)$$

Koefisien respons seismic  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.11

$$C_{S_{\min}} = \frac{SD_s}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.9)$$

Nilai  $C_{S_{\min}}$  tidak perlu melebihi dari persamaan berikut :

$$C_s = \frac{SD_1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

$$C_s = 0,44 \times S_{DS} \times I_e \quad (2.11)$$

### 2.3.7 Periode dan Frekuensi

Periode getar (T) adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisinya keseimbangan statis dan kembali ke posisinya, dan ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan detik disebut frekuensi. Periode sendiri memiliki satuan sekon (*sec*) sedangkan frekuensi memiliki satuan *hertz (hz)*. Hubungan antara periode dan frekuensi dan frekuensi dapat dilihat pada persamaan (2.12) dan persamaan (2.13).

$$T = \frac{2 \pi}{\omega} \quad (2.12)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.13)$$

### 2.3.8 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Setelah dilakukan analisis dinamik respon spektrum dan analisis *time history* menggunakan *software ETABS*, maka dibutuhkan berat gravitasi total struktur gedung efektif atau total massa bangunan ( $W$ ) dengan memunculkan *Table Group Masses and Weights*.

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4 dalam analisis respon spektrum, hasil analisis gaya geser ( $V$ ) dimodelkan setidaknya 85% dari gaya geser pada hitungan yang pertama (Pasal 7.9.4). Hasil analisis  $V$  dari respon spektrum dan *time history* dinotasikan sebagai  $V_d$  (dinamik) sedangkan hasil analisis  $V$  dari hitungan pertama merupakan  $V$  untuk static ekuivalen dinotasikan sebagai  $V_s$  (statik ekuivalen) dengan  $V_d \geq 85\% V_s$ .

### 2.3.9 Distribusi Gaya Geser

Distribusi gaya horizontal diatur dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.4, sedangkan distribusi gaya vertikal diatur dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3. Distribusi gaya vertikal ( $F_x$ ) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (2.14)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{t=1}^n W_x \times h_x^k} \quad (2.15)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = factor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (kN)

$H_i, h_k$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut :

$k = 1$  untuk  $T < 0.5$  detik

$k = 2$  untuk  $T > 2.5$  detik

$k$  = interpolas jika  $0.5 < T < 2.5$

### 2.3.10 Simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012, Simpangan antar lantai pada kondisi maksimum berkaitan dengan gaya lateral renca termasuk perpindahan yang diakibatkan deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak diizinkan melebihi Batasan berikut ini.

- a. Simpangan antar lantai maksimum pada struktur di atas sistem isolasi yang dihitung dengan analisis spektrum respons tidak diizinkan melebihi  $0,015h_{sx}$
- b. Simpangan antar lantai maksimum pada struktur di atas sistem isolasi yang dihitung menggunakan analisis *time history* berdasarkan karakteristik gaya landutan dari elemen-elemen non-liner system penahan gaya gempa tidak melebihi  $0,020h_{sx}$

Defleksi pusat massa ditingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\delta_x = (C_d \times \delta) / I_e$$

$$C_d = 5,5 \quad (\text{Tabel 2.2})$$

$$I_e = 1 \quad (\text{Tabel 2.2})$$

Simpangan antar lantai tingkat desain tidak diizinkan melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin berdasarkan SNI 1726:2012, Pasal 7.12.1 (Tabel 16, hal 66).

Simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) adalah.

$$\Delta_a = 0,02 h_{sx} \quad (\text{Tabel 2.6})$$

$$h_{sx} = \text{tinggi tingkat dibawah tingkat X}$$

### 2.3.11 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta untuk analisis statik dan dinamik diatur menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8 dan 7.9. pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10 .

$$\theta = \frac{P_x \Delta l_e}{V_x \times H_{sx} \times C_d}$$

Keterangan:

$P_x$  = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat  $x$  (kN)

$\Delta$  = Simpangan antar lantai (mm)

$l_e$  = Faktor keutamaan gempa

$V_x$  = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat  $x$

dan  $l_x$  (kN)  $H_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$  (mm)

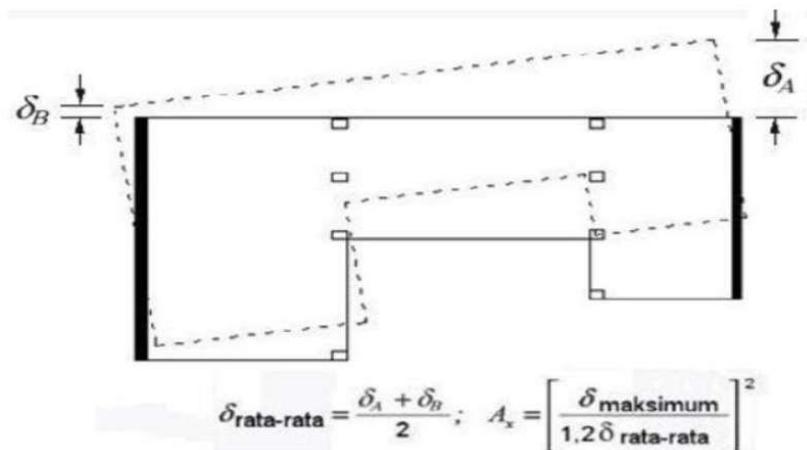
$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi ( $C_d = 5.5$ )

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi  $\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_x C_d} \leq 0,25$

### 2.3.12 Ketidak Beraturan Struktur

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.4 Eksentrisitas dan torsi digunakan untuk mengetahui ketidak beraturan struktur. Torsi terdiri dari torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi tak terduga adalah eksentrisitas tambhan 5% dari dimensi bangunan masing masing arah X dan arah Y.

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D,E, atau F dimana tipe 1a atau 1b ketidak beraturan torsi terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan torsi dimasing masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ).



Gambar 2. 2 Ilustrasi pembesaran momen torsi

Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) tidak diisyaratkan melebihi 3,0. Ketidak beraturan struktur terhadap torsi (1a dan 1b) ditentukan dengan syarat :

$\delta_{Max} < 1,2 \delta_{Avg}$  = Tidak terjadi ketidak beraturan struktur

$1,2 \delta_{Avg} < \delta_{Max} < 1,4 \delta_{Avg}$  = Terjadi ketidak beraturan torsi 1a

$\delta_{Max} > 1,4 \delta_{Avg}$  = Terjadi ketidak beraturan torsi 1b