

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **1.1 Tinjauan Pustaka**

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik, gelombang ini merambat ke segala arah menjauhi pusat gempa atau gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi. Frekuensi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang di alami selama periode waktu. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang, gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan diatasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. (Schodek, 1999)

Kinerja bangunan terhadap gempa harus dinyatakan secara jelas adalah salah satu hal yang penting. Kinerja tersebut terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakanyang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. (Dewobroto, 2006)

Struktur bangunan harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan, sehingga pada saat struktur bangunan terkena gempa bangunan masih dapat bertahan. Menurut Paulay (1988). Tingkat layanan dari struktur gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu sebagai berikut ini.

##### *a. Serviceability*

Batas layan struktur yang terkena gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal didalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan kontrol dan batassimpangan (*drift*) yang terjadi saat gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis. Sehingga tidak terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun dalam elemen non-struktur yang ada.

b. Kontrol kerusakan

Batas layan struktur yang terkena gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur atau, masa rencana bangunan, maka struktur harus direncanakan dapat menahan gempa kecil tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur ataupun mauun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur dalam batas elastis.

c. *Survival*

Batas layan struktur yang terkena gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur / masa bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami kerusakan dan keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

Struktur stabil adalah struktur yang apabila dikenakan beban, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban. Schodek (1999)

### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Pratama, dkk (2014) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis *Time History* pada Tinjauan *Drift* dan *Displacement* Menggunakan *Software Etabs*”. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan *drift* dan *displacement* sesuai dengan kinerja. Penelitian ini menggunakan analisis riwayat waktu dengan 4 rekaman gempa asli yaitu gempa el centro, gempa taiwan, gempa friuli, dan gempa sumatera. Perhitungan analisis struktur menggunakan *software ETABS* dalam model tiga dimensi. Pada pengujian ini menggunakan *modeling* struktur gedung 10 lantai. Hasil Penelitian ini berdasarkan analisis riwayat waktu pada gempa rencana untuk rekaman gempa el centro terdapat 3 lantai yang tidak aman pada arah y terhadap kontrol batas layan dan ultimit. Analisis riwayat waktu pada gempa aktual untuk rekaman el centro terdapat 8 lantai pada arah x dan 7 lantai pada arah y yang tidak aman terhadap kontrol batas layan dan ultimit.

Purnomo, dkk (2014) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum

Menggunakan *software ETABS*(Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang)”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung ditinjau dari *displacement*, *drift* dan *base shear*. Analisis yang digunakan adalah analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik *response spectrum* dengan menggunakan program *ETABS*. Pada pengujian ini menggunakan *modeling* struktur gedung hotel di Semarang yang memiliki tinggi 10 lantai. Hasil dari penelitian ini adalah nilai *displacement* lantai teratas pada arah X adalah 0,0573 m dan pada arah Y adalah 0,0557 m. Analisis nilai *displacement* terhadap syarat kinerja batas layan  $\{(0,03/R) \times H\}$  pada bangunan hotel di Semarang dari pengaruh beban gempa rencana arah X sudah memenuhi syarat, sedangkan untuk pengaruh beban gempa rencana arah Y khusus pada lantai teratas tidak memenuhi syarat kinerja batas layan.

Rendra, dkk (2015) melakukan penelitian dengan judul “Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum dan *Time History*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur akibat beban gempa perlu dilakukan analisis dinamik. Dalam penelitian ini terdapat dua metode dinamik yang digunakan yaitu metode respon spektrum dan *time history*. Respon spektrum yang digunakan adalah respon spektrum kota Pekanbaru berdasarkan SNI 1726-2012 sedangkan riwayat gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah riwayat gempa el centro, gempa mentawai, gempa aceh dan gempa padang. Struktur yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Gedung Hotel SKA Pekanbaru. Penelitian ini mengkaji kinerja struktur gedung yaitu *story shear*, *displacement* dan simpangan lantai ketika menerima beban gempa. Hasil dari pengujian ini adalah penambahan *shearwall* mengurangi waktu getar alami fundamental struktur Gedung SKA Pekanbaru. Namun waktu getar alami *fundamental* struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru masih melampaui waktu getar alami fundamental yang ditentukan oleh SNI 1726-2012.

Faizah (2015) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respons Bangunan Bertingkat” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh frekuensi gempa terhadap respons struktur dengan berbagai variasi jumlah tingkat, dan variasi dimensi kolom pada setiap tingkat. Frekuensi respons struktur akibat gempa yang bervariasi ini dapat dilihat dengan menggunakan analisis dinamik *time history* dengan menggunakan *software Matlab*. Penelitian ini menggunakan *modeling* variasi tingkat yaitu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 lantai. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa semakin rendah frekuensi gempa, maka simpangan tingkat maksimum pada bangunan yang relatif tinggi akan semakin tinggi. Semakin rendah frekuensi gempa, maka gaya horisontal tingkat pada bangunan yang relatif rendah akan semakin tinggi.

Bayyinah, dkk (2017) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung”. Penelitian ini akan membandingkan analisis linier respon spektra dan linier *time history*. Gedung didesain dengan analisis respon spektra kemudian desain tersebut dievaluasi dengan analisis linier *time history*. Data gempa untuk *time history* menggunakan 3 (tiga) rekaman gempa yaitu gempa Kobe (Jepang, 1995), Imperial Valley (California, 1979) dan Tabas (Iran, 1978). Pengujian ini menggunakan bangunan tingkat tinggi lebih dari 10 lantai atau 40 m. Nilai yang digunakan dari ketiga data gempa tersebut diambil *base shear* terbesar dari linier *time history* yaitu gempa kobe dengan hasil sebesar 10580 KN arah x dan 9691 KN arah y. Nilai *base shear* respon spektra lebih besar dibandingkan analisis linier *time history* yaitu sebesar 11621,343 KN arah x dan 12038,64 KN arah y.

Patil, dkk (2013) melakukan penelitian yang berjudul “*Seismic Analysis of High-Rise Building by Response Spectrum Method*”. Penelitian ini menjelaskan *seismic analysis* menggunakan *software STAADPro*. Tujuan dari penelitian ini menyajikan *base shear*, *story drift* dan *story deflection* agar mendapatkan sistem penahan beban lateral yang efektif. Pengujian ini menggunakan tiga jenis rangka gedung yaitu *bare frame*, *brace frame*, dan *shear wall frame*. Metode yang digunakan adalah analisis respon spektrum. Hasil dari penelitian ini adalah model dengan rangka *shear wall* terletak diluar arah X dan Z yang paling efektif dalam menahan beban lateral karena menunjukkan defleksi paling sedikit dibandingkan model yang lain.

Faizah (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta”. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil *equivalent static seismic load* dan analisis *time history* dengan bantuan program *mathlab*. Pengujian ini dilakukan pada struktur rangka beton bertulang bertingkat 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 lantai. Hasil dari penelitian ini adalah analisis statik ekuivalen cukup akurat pada bangunan 5 lantai, sedangkan untuk bangunan lebih dari 10 lantai tidak akurat karena

persyaratan yang diberikan dalam mendesain struktur sangat kecil dibandingkan dengan analisis *time history*.

Anggen, dkk (2014) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs” Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan nilai *drift* dan *interstory drift* oleh pengaruh gempa rencana dan gempa aktual. Studi kasus dalam penelitian ini adalah hotel bertingkat di Karanganyar, dimana model struktur dibuat dalam 3D dengan program *ETABS*. Gempa rencana yang digunakan analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen sebagai pembanding. Hasil dari penelitian ini berdasarkan ATC-40 adalah struktur aman dan masuk kategori *immediate occupancy*, dan hasil analisis akibat gempa aktual adalah gempa *elcentro*: struktur tidak aman pada Lt 1 – Lt Atap, struktur masuk kategori *damage control*, gempa *northridge*: struktur tidak aman pada Lt 10 dan Lt Atap, namun masih pada kategori *immediate occupancy*, dan gempa *mentawai*: struktur aman dan masuk kategori *immediate occupancy*.

Choudhary, dkk (2016) melakukan penelitian yang berjudul “*Dynamic Analysis of Multistory Building Using Response Spectrum Method and Seismic Coefficient Method -A Comparison*”. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan *base shear* antara menggunakan analisis respon spektrum dan *seismic co-efficient method*. Penelitian ini menggunakan metode *seismic co-efficient method* dan analisis respon spektrum, benda uji yang digunakan adalah gedung bertingkat G+10. Analisis respon spektrum menggunakan *software STAAD-PRO-V8i*, sedangkan untuk *seismic co-efficient method* menggunakan perhitungan tangan dengan rumus *codal*. Hasil dari penelitian ini adalah *base shear* yang dihasilkan analisis respon spektrum lebih tinggi daripada *seismic co-efficient*.

Listyorini, dkk (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis *Time History*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur bangunan tanpa menggunakan dinding geser dengan bangunan yang menggunakan dinding geser berdasarkan nilai simpangan oleh pengaruh gempa rencana. Studi kasus dalam penelitian ini adalah rumah sakit di Yogyakarta, dimana struktur gedung dimodelkan sebagai struktur 3 dimensi dengan program *ETABS V9.5.0*. Gempa rencana yang digunakan adalah analisis dinamik *time history* dan

analisis statik ekuivalen. Hasil dari penelitian ini simpangan yang terjadi pada gedung tanpa dinding geser maupun dengan dinding geser memenuhi persyaratan simpangan ijin yaitu  $\leq 0,041m$ . Namun masih terdapat simpangan yang tidak memenuhi syarat simpangan ijin, yaitu pada gempa *Superstition Hills*. Menurut ATC-40 kinerja untuk gedung tanpa dinding geser maupun menggunakan dinding geser masih masuk dalam level kinerja *IO (Immediate Occupancy)*

Hasil penelitian terdahulu yang pernah ada masih diperlukannya penelitian lebih lanjut terhadap respon model bangunan beton bertulang tanpa dinding untuk mengetahui sejauh mana perilaku pembebanan gempa respon spektrum dan *time history* pada struktur bangunan. Oleh sebab itu penelitian ini akan membandingkan hasil analisis dinamik antara analisis respon spektrum dan *time history*.

### 2.1.2 Penelitian Terdahulu dan Sekarang

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	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis <i>Time History</i> pada Tinjauan <i>Drift</i> dan <i>Displacement</i> Menggunakan <i>Software</i> Etabs	2014	<i>Software</i> ETABS	<i>Software</i> SAP 2000	Analisis dinamik <i>time history</i> yaitu gempa el centro, gempataiwan, gempa friuli, gempasumatera	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Imperial Valley El Centro
2	Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan	2014	<i>Software</i> ETABS	<i>Software</i> SAP 2000	Analisis dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Imperial Valley El Centro

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
3	Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum dan <i>Time History</i>	2015	<i>Software</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> yaitu gempa el centro, gempa mentawai, gempa aceh dan gempa padang. Hasil penelitian <i>story shear</i> , <i>displacement</i> dan simpangan lantai ketika menerima beban gempa	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Imperial Valley El Centro, hasil penelitian berupa <i>displacement</i> , <i>base shear</i> , <i>drift rasio</i> , efe P-delta, pembesaran torsi, <i>story shear</i> dan <i>mode shapes</i>
4	Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respons Bangunan Bertingkat	2015	<i>Software Mathlab</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik <i>time history</i> dengan variasi jumlah tingkat gedung dan variasi dimensi kolom	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro, dengan gedung bertingkat 11 lantai
5	Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan <i>Time History</i> untuk Desain Gedung	2017	<i>Software SAP 2000</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> yaitu gempa Kobe Imperial Valley Tabas. Hasil penelitian berupa <i>displacement</i> dan <i>base shear</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Imperial Valley El Centro, hasil penelitian berupa <i>displacement</i> , <i>base shear</i> , <i>drift rasio</i> , efe P-delta, pembesaran torsi, <i>story shear</i> dan <i>mode shapes</i>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
6	<i>Seismic Analysis of High-Rise Building by Response Spectrum Method</i>	2013	<i>Software STAADPro</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik respon spektrum	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro
7	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> Imperial Valley El Centro, hasil penelitian berupa <i>displacement, base shear, drift rasio, efe P-delta, pembesaran torsi, story shear</i> dan <i>mode shapes</i>	2015	<i>Software Mathlab</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik <i>time history</i> dengan variasi tingkat struktur rangka beton bertulang	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro, dengan gedung bertingkat 11 lantai
8	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs	2014	<i>Software ETABS</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik <i>time history</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro
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 SAP 2000</i>	Hasil dari penelitian membandingkan <i>base shear</i> antara menggunakan analisis respon spektrum dan <i>seismic co-efficoent method</i>	Hasil penelitian berupa <i>displacement, base shear, drift rasio, efe P-delta, pembesaran torsi, story shear</i> dan <i>mode shapes</i> menggunakan analisis dinamik respon spectrum dan <i>time history</i>



Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian		Perbedaan	
			Terdahulu	Sekarang	Terdahulu	Sekarang
10	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis <i>Time History</i>	2015	<i>Software ETABS</i>	<i>Software SAP 2000</i>	Analisis dinamik <i>time history</i>	Analisis dinamik respon spektrum dan <i>time history</i> El Centro

Berdasarkan perbedaan diatas, maka penelitian tentang analisis gempa dinamik respon spektrum dan *time history* pada struktur beton 10 lantai adalah asli dan belum pernah diteliti oleh peneliti terdahulu, sehingga dengan ini dilakukan penelitian mengenai hal tersebut.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Analisis Gempa

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

- a. Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Biasanya distribusi gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini di sederhanakan sebagai segitiga terbalik.
- b. Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 macam, yaitu sebagai berikut ini.
  - 1) Analisis *time history* ialah analisis dinamis pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon spektrum dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.
  - 2) Analisis respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

### 2.2.2. Metode Analisis Respon Spektrum

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/hubungan antara periode getar struktur  $T$ , dari respon-respon maksimum

berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement, SD*) kecepatan maksimum (*spectral velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*) massa struktur *single degree of freedom (SDOF)*, (Widodo, 2001). Faktor respons gempa dinyatakan dalam bentuk percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam respon spektra desain.

a. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung berdasarkan jenis pemanfaatan struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.1, pengaruh gempa rencana terhadap risiko struktur bangunan dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  ada pada Tabel 2.2, dan koefisien modifikasi respons R, faktor kuat lebih sistem  $\Omega_0$ , dan koefisien defleksi  $C_d$  dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012, Tabel 1)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	
- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan	I
- Fasilitas sementara	
- Gedung penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori risiko I,II,II,IV	
- Perumahan Rumah tokodan rumah kantor	II
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen/ rumah susun	
- Pusat perbelanjaan/ mall	
- Bangunan industri	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	

Lanjutan Tabel 2.2 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012, Tabel 1)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
-------------------	-----------------

---

Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadío Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara

III

Bangunan untuk orang jompoGedung 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-sehari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembakit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nila batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

---

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasisilitas pendidikan
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kenadaraan

---

Lanjutan Tabel 2.2 Kategori Risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012, Tabel 1)

---

Jenis pemanfaatan

Kategori risiko

- 
- darurat
-

- 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
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 kedalam kategori IV.	

Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa (SNI 1726-2012, Tabel 2)

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

Tabel 2.4 Fakto  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan gaya seismik	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 didetail	2	2,5	2
Dinding geser beton polos detail	1,5	2,5	1,5
Dinding geser pracetak 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

b. Parameter respon spektra percepatan gempa

Parameter  $S_{D_s}$  untuk percepatan batuan dasar pada periode pendek dan  $S_{D_I}$  percepatan batuan dasar pada periode 1 detik, didapat persamaan 2.1 dan 2.2. Respon

spektrum yang digambarkan ke dalam grafik dapat dibuat dengan mengarah pada nilai parameter respon spektra yang telah dihitung ( $S_a$ ,  $S_{DS}$ ,  $S_{DI}$ ,  $T_0$ , dan  $T_s$ ). Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

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

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

Tabel 2.5 Koefisien Situs,  $F_a$ (SNI 1726-2012, Tabel 4)

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 <sup>b</sup>				

Tabel 2.6 Koefisien Situs,  $F_v$ (SNI 1726-2012, Tabel 5)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik $S_s$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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 <sup>b</sup>				

c. Spektrum respons desain

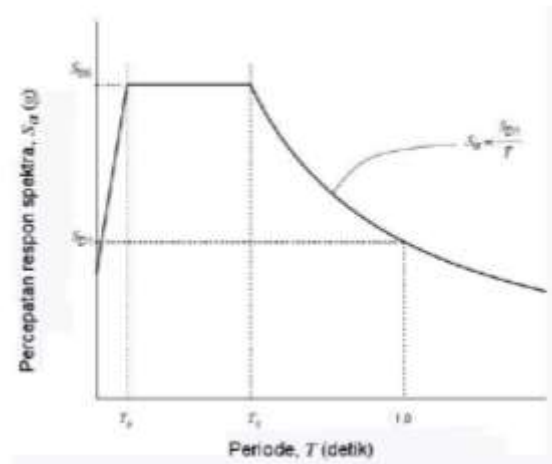
Data tanah tidak diperlukan, jika desain respon spektrum telah menggunakan prosedur ini. Kurva desain respon spektrum harus mengacu pada Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

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

2. Untuk peroda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk peroda lebih besar  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan:

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



Gambar 2.1 Spektrum respons desain (SNI 1726-2012)

### 2.2.3. Metode Analisis *Time History*

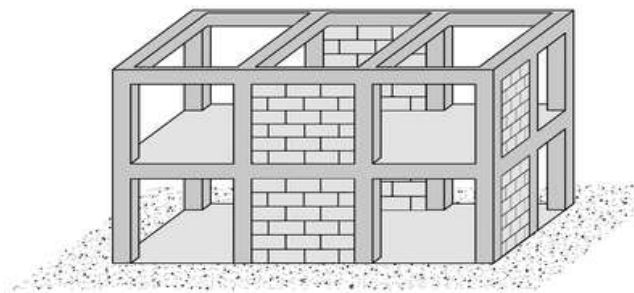
Analisis riwayat waktu atau *time history* adalah suatu cara analisis gempa dinamik struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur yang ada.

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

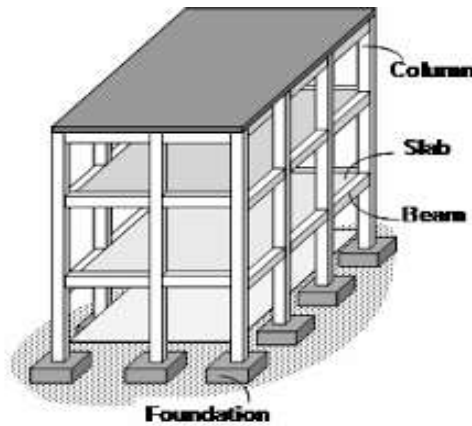
$$PGAM = FPG \times PGA \quad (2.5)$$

#### 2.2.4. Sistem Struktur

Terdapat dua jenis struktur yang dapat dilaksanakan pada pemodelan yaitu sistem struktur terbuka dan sistem struktur rangka berdinding. Struktur rangka terbuka adalah sistem struktur yang terdiri dari balok dan kolom untuk menahan beban. Sedangkan struktur rangka berdinding adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka balok dan kolom untuk menahan beban dan dinding pengisi diperhitungkan kekuatannya dalam memikul beban. Struktur bangunan rangka terbuka dan tertutup dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Struktur Rangka Berdinding (*world-housing.net, 2009*)



Gambar 2.3 Struktur Rangka Terbuka (*world-housing.net, 2009*)

#### 2.2.5. Batasan Kinerja Struktur

Simpangan antar tingkat lantai ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antara tingkat lantai ijin ( $\Delta_a$ ), batas ijin simpangan setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.7 Batas Ijin Simpangan Tiap Lantai (SNI 1726-2012, Tabel 16)

---

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 eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

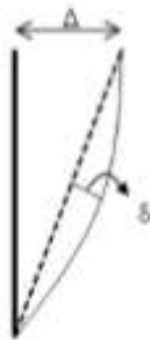
### 2.2.6. Pengaruh P-delta

Menurut SNI 1726:2012, efek P-delta adalah efek sekunder yang bekerja pada elemen struktur, yang diakibatkan oleh penambahan beban vertikal sebagai akibat dari perpindahan horisontal struktur. Gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh P-delta tidak disyaratkan apabila koefisien stabil ( $\theta$ ) seperti persamaan rumus 2.6 sama dengan atau kurang dari 0,10 dan tidak melebihi  $\theta_{max}$  seperti persamaan rumus 2.7.

$$\theta = \frac{Px \times \Delta \times Ie}{Vx \times h_{sx} \times Cd} \quad (2.6)$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times Cd} \leq 0,25 \quad (2.7)$$

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi  $\theta_{max}$ , jika  $\theta$  melebihi  $\theta_{max}$  maka struktur berpotensi tidak stabil. Efek P-delta berasal dari 2 sumber yaitu perpindahan global lateral batang dan deformasi local dari bagian didalam batang,  $\Delta$  disimbolkan sebagai keseluruhan perpindahan dari batang, (Fauziah, 2013). Pengaruh efek P-delta dapat dilihat pada Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Pengaruh efek P-delta (Fauziah, 2013)

### 2.2.7. Mode Shapes

Jumlah *mode* pada struktur dengan derajat kebebasan banyak biasanya dapat dihubungkan dengan jumlah massa. *Mode* itu sendiri adalah jenis/pola/ragam getaran/goyangan suatu struktur bangunan. *Mode* ini hanya merupakan fungsi dari properti dinamik dari struktur yang bersangkutan dan bebas dari pengaruh waktu dan frekuensi getaran. Terdapat beberapa cara untuk mendapatkan grafik *mode shapes* salah satunya adalah metode polinomial, metode polinomial pada dasarnya masih menggunakan persamaan *eigenproblem*. Cara yang dipakai adalah dengan mentransfer persamaan simultan *eigenproblem* menjadi suatu persamaan polinomial pangkat banyak. Akar-akar persamaan polinomial tersebutlah yang dicari sehingga menghasilkan nilai-nilai *eigenvector*. Persamaan dibuat dalam bentuk matriks seperti pada persamaan (2.8).

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) dapat disusun dalam bentuk persamaan *eigenproblem* sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} (k_1+k_2)-\omega^2 m & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2+k_3)-\omega^2 m & -k_3 \\ 0 & -k_3 & (k_3+k_4)-\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

### 2.2.8. Periode dan Frekuensi

Periode getar  $T$  adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya, 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 dapat dilihat pada persamaan (2.10) dan persamaan (2.11).

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.10)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.11)$$

### 2.2.9. Periode Fundamental Pendekatan

Menurut SNI 1726:2012, periode fundamental struktur ( $T$ ), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur ( $T$ ) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode ( $C_u$ ) dari Tabel 2.7. dan periode fundamental pendekatan dalam detik ( $T_a$ ) yang ditentukan sesuai persamaan (2.13), dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan pada Tabel 2.8.

$$T_a = C_t \times h n^x \quad (2.13)$$

Tabel 2.8 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral 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 2.9 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$ (SNI 1726:2012)

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
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 moemen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Lanjutan Tabel 2.9 Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ (SNI 1726:2012)		
Tipe Struktur	$C_t$	$X$
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 sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

### 2.2.10. Geser Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2012, geser dasar seismik adalah gaya geser atau lateral total yang bekerja pada tingkat dasar. Gaya geser seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (2.14)$$

Koefisien respons seismik  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.14)

$$C_{Smin} = \frac{SD_s}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.15)$$

Nilai  $C_{Smin}$  tidak perlu melebihi dari persamaan berikut:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.16)$$

$$C_{Smin} = 0,44 \times S_{DS} \times I_e \quad (2.17)$$

### 2.2.11. Batasan Simpangan antar lantai

Menurut SNI 1726-2012, simpangan antar lantai maksimum yang berkaitan dengan gaya lateral rencana termasuk perpindahan akibat deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak boleh melebihi batasan berikut ini:

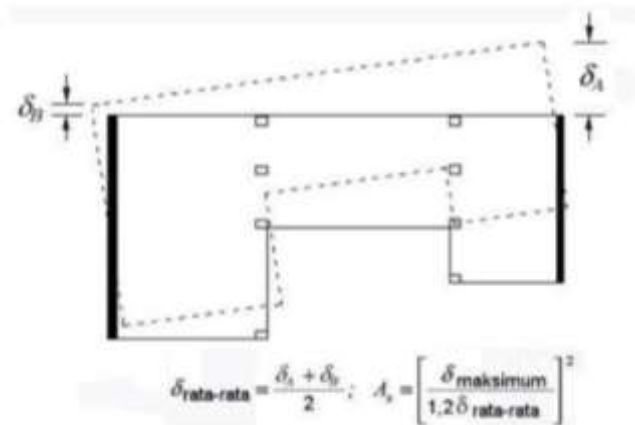
- a. Simpangan antar lantai maksimum dari struktur di atas sistem isolasi yang dihitung dengan analisis spektrum respons tidak boleh melebihi  $0,015h_{sx}$ .
- b. Simpangan antara lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi yang dihitung dengan menggunakan analisis riwayat respons berdasarkan karakteristik gaya lendutan dari elemen-elemen non-linie sistem penahan gaya gempa tidak boleh melebihi  $0,020h_{sx}$ .

### 2.2.12. Ketidakberaturan Struktur

Menurut SNI 1726:2012 Eksentrisitas dan torsi digunakan untuk mengetahui ketidakberaturan struktur. Torsi terdiri dari torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi tak terduga adalah eksentrisitas tambahan 5% dari dimensi bangunan masing-masing arah X dan arah Y.

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan torsi di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ). Ilustrasi pembesaran torsi dapat dilihat pada Gambar 2.5.

$$A_x = \left( \frac{\delta_{\text{Max}}}{1,2\delta_{\text{Avg}}} \right) \quad (2.18)$$



Gambar 2.5 Faktor pembesaran torsi (SNI 1726:2012)

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

$\delta_{\text{Max}} < 1,2\delta_{\text{Avg}}$  = Tidak terjadi ketidakbearturan struktur

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

$\delta_{\text{Max}} > 1,4\delta_{\text{Avg}}$  = Terjadi ketidakbearturan torsi 1b