

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu Tentang Studi Respon Struktur Gedung

Rifa'I dkk. (2014) melakukan kajian tentang penilaian kinerja struktur gedung bertingkat tinggi dengan analisis gempa respon spektrum menggunakan bantuan *software ETABS*. Analisis dilakukan dengan memodelkan struktur gedung dari mulai kolom, balok, pelat lantai, dan struktur gedung lainnya kedalam *software*. Mutu beton yang digunakan adalah 29,61 MPa setara dengan K-350 dengan modulus elastisitas E_c sebesar 25576,224 MPa.

Hasil analisis menunjukkan pada arah X dan Y yang menghasilkan nilai gaya geser dasar lebih besar dari 0,85 nilai gaya geser analisis statik ekuivalen yang berarti hasil akhir respon strukturnya terhadap beban gempa rencana telah memenuhi persyaratan dalam SNI 1726:2012. *Displacement* terbesar struktur akibat beban gempa dinamik respon spektrum pada arah X sebesar 0,0465 m dan pada arah Y sebesar 0,0634 m, maka jika dilihat berdasarkan kinerja batas layan dan batas ultimit gedung telah memenuhi syarat sesuai SNI 1726:2012. Nilai terbesar total *drift* yang terjadi pada arah X sebesar 0,00090 dan pada arah Y sebesar 0,00103. Nilai terbesar total inelastik *drift* yang terjadi pada arah X sebesar 0,00077 dan pada arah Y sebesar 0,00123, maka jika dilihat berdasarkan ATC-40 berada dalam kategori level *Immediate Occupancy* yaitu apabila bangunan tersebut terkena gempa masih dalam kategori aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang signifikan, dan dapat segera difungsikan kembali.

Studi lain telah dilakukan oleh Pratiwi dkk. (2017) mengenai analisis dan desain struktur beton bertingkat banyak berdasarkan perbandingan analisis respon spektrum dan dinamik riwayat waktu. Objek penelitian yang digunakan yaitu bangunan mempunyai bentuk tidak beraturan (*irregular*) dan berjumlah 9 lantai berlokasi di Yogyakarta dan terletak di atas tanah sedang,

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa gaya geser (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan dinamik respons spektrum (V_i)

belum memenuhi syarat sesuai SNI 1726:2012, dan perlu dikalikan dengan faktor skala. Nilai *displacement* akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa dinamik riwayat waktu *El Centro* 1940 (frekuensi menengah). Simpangan antar lantai akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa *El Centro* 1940 (frekuensi menengah). Nilai momen dan gaya geser balok dan kolom akibat beban gempa respons spektrum nilainya cenderung lebih kecil dibandingkan dengan momen dan gaya geser balok dan kolom beban gempa *El Centro* 1940 (frekuensi menengah).

Purnomo dkk. (2014) menganalisis bangunan hotel di Semarang dengan analisis dinamik respon spektrum menggunakan *software ETABS*. Analisis dinamik salah satu analisis struktur dengan gaya geser gempa dibagi pada seluruh tingkat dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur bangunan.

Hasil analisis dengan metode respon spektrum menunjukkan nilai ragam respon spektrum yang terjadi pada arah X dan Y didapatkan nilai $V_i \geq 0,85 V$, yang berarti nilai gaya geser analisis statik ekuivalen respon strukturnya terhadap beban gempa rencana telah memenuhi persyaratan. Nilai *displacement* yang terjadi pada arah X sudah memenuhi persyaratan sesuai peraturan kinerja batas layan, sedangkan akibat *displacement* arah Y terlihat di lantai teratas (lantai atap 1) tidak memenuhi syarat kinerja batas layan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja terhadap level struktur gedung telah sesuai dengan ATC-40, pada arah X dan arah Y nilai maksimum total *drift* dan total *inelastic drift* termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy* (IO).

Afriadi (2013) melakukan perancangan salah satu gedung di Kota Yogyakarta mengenai penggunaan peta gempa. Gedung yang dirancang yaitu dengan tinggi 4 lantai. Rencana *base shear* pada struktur gedung tersebut sebagai perbandingan jenis tanah (kelas situs) yang berada di Yogyakarta, yaitu untuk tanah lunak, sedang dan keras.

Nilai gaya geser dasar pada struktur gedung bertingkat sedang yang berada diatas tanah lunak berdasarkan RSNI 1726-201X lebih kecil dari nilai gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dengan selisih kecil sedangkan struktur gedung yang dibangun berada di tanah sedang, nilai gaya

geser dasar dari RSNI 1726-201X lebih besar terhadap gaya geser dasar yang dihitung dengan SNI 03-1726-2002. Nilai rasio geser yang terjadi dengan perhitungan RSNI 1726-201X terhadap gaya geser yang berdasarkan perhitungan SNI 03-1726-2002 telah mencapai sebesar 1,4. Pada struktur yang didirikan berada di permukaan tanah keras, gaya geser dasar yang dihitung dengan RSNI 1726-201X menghasilkan nilai dengan kenaikan sebesar 70% yang lebih besar dari gaya geser dasar berdasarkan perhitungan SNI 03-1726-2002. Gaya geser akibat perhitungan RSNI 1726-201X pada tanah lunak lebih kecil dari gaya geser pada tanah sedang dan keras. Hal tersebut dapat terjadi karena parameter spektral respons percepatan desain pada RSNI 1726-201X lebih kecil untuk tanah berjenis lunak dibandingkan dengan nilai parameter spektral respons percepatan desain pada tanah berjenis sedang dan keras, untuk rentang perioda struktur yang ditinjau.

Kai dkk. (2017) melakukan kajian tentang dampak penggunaan *bracing* pada portal gedung bertingkat untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur. Dalam penelitian ini penggunaan *bracing* dapat menguatkan perilaku bangunan sehingga mengurangi bahaya keruntuhan berdasarkan percobaan yang dilakukan. Sebuah portal terbuka tanpa penggunaan *bracing* dan portal terbuka dengan menggunakan *bracing* yang di uji pada lantai tiga didapatkan untuk rangka terbuka tanpa *bracing* nilai lendutan meningkatkan nilai kapasitas luluhnya sebesar 12,3% sedangkan pada portal dengan *bracing* dapat meningkatkan kekakuan awal yang lebih tinggi dan kapasitas beban puncak pertama tercapai. *Bracing* yang dipasang menggunakan sistem sambungan konsentrik (SF1) dan *bracing* yang dipasang dengan sistem eksentrik (SF2) meningkatkan beban puncak pertama yang masing-masing nilainya sebesar 121,3% dan 126,9%. SF2 dengan sistem *bracing* eksentrik menghasilkan nilai yang lebih baik sesuai dengan kekakuan awal dan kapasitas beban puncak pertama. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa sistem *bracing* secara eksentrik adalah metode yang efektif untuk meningkatkan perilaku rangka portal bangunan dalam mengurangi keruntuhan struktur bangunan.

Maheri dkk. (2016) melakukan penelitian tentang evaluasi kinerja seismik berbagai jenis sambungan antara *bracing* baja dengan rangka beton bertulang

menggunakan analisis numerik. Dua jenis koneksi dengan sambungan rangka baja diagonal baja *brace* konvensional, sedangkan tipe ketiga adalah sambungan baru yang dirancang khusus untuk meningkatkan daktilitasnya. Percobaan yang dilakukan sebelumnya pertama kali digunakan untuk memverifikasi keakuratan model numerik pada suatu sambungan. Sambungan diletakan ke dalam sistem *bracing* dengan rangka beton bertulang, kemudian dilakukan analisis siklik nonlinier. Nilai respon histori dari dari rangka digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan parameter kinerja seperti kapasitasnya, kekakuan, degradasi kekakuan, energi disipasi, rasio redaman ekuivalen dan rasio daktilitas. Parameter ini kemudian dibandingkan untuk rangka dengan 3 jenis sambungan yang berbeda. Hasil penelitian disimpulkan bahwa dua sambungan dengan sistem konvensional dapat bekerja secara efektif ketika kapasitas dan kekakuan strukturnya tercapai, sambungan baru dapat meningkatkan daktilitasnya dan meningkatkan kapasitas penyerapan energi dari rangka.

Shengfang dkk. (2017) melakukan penelitian tentang konfigurasi *bracing* dan kinerja seismik gedung rangka beton bertulang. Analisis dalam penelitian ini menggunakan metode nonlinier statis dan analisis riwayat waktu *time history*. Pertama, konfigurasi *bracing* yang dioptimalkan untuk seluruh struktur dan satu per satu bentang diambil dengan optimasi topologi menggunakan pemodelan seperti *truss*. Selanjutnya, model struktur disimulasikan dalam *Open Sees*. Selain itu, konfigurasi *bracing* yang berbeda digunakan.

Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa terdapat lebih banyak rincian untuk membangun dapat disajikan dengan konfigurasi perkuatan menggunakan model seperti *truss*. Selanjutnya, peningkatan kekuatan struktural dan kekakuan lebih disarankan dalam konfigurasi perkuatan menggunakan topologi optimasi yang disebut TPB, sesuai dengan hasil yang dioptimalkan menggunakan seluruh struktur dari konfigurasi lainnya. Konfigurasi *bracing* yang dioptimalkan berdasarkan struktur antar lantai juga bermanfaat dalam kondisi yang ditentukan. Selain itu, tekuk pada *bracing* dapat menurunkan kedua kekuatan dan kekakuan, dan tekuk juga dapat memperburuk tingkat kerusakan daripada *bracing* tanpa tekuk.

Shah dkk. (2018) Penelitian ini mengkaji tentang metode RVS (*Rapid Visual Screening*) dari sejumlah besar bangunan di Jeddah meliputi proses dalam menentukan bahaya, menilai ketersediaan bangunan, dan menghitung kerentanan bangunan menggunakan metode penilaian dari FEMA 155. Objek penelitian dilakukan di dua tempat yang berbeda berdasarkan analisis kluster yang diterapkan pada populasi dan data bangunan dari tempat tersebut. Pertama dilakukan pada daerah urban yang dikembangkan dan yang lainnya berada di daerah rural. Pemilihan kedua tempat tersebut untuk membandingkan kerentanan bangunan yang dibangun sesuai dengan kode seismik sesuai daerah masing-masing. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa pengaruh umur kinerja seismik menghasilkan tingkat kerentanan yang berbeda dan pada wilayah bidang-bidang di mana diperluhkan perbaikan. Hal ini terutama disebabkan karena evolusi kode bangunan, kualitas bahan bangunan, dan metode konstruksi. Selain itu desain modern cenderung lebih teratur dalam hal bentuk bangunan. Penelitian yang dilakukan menawarkan langkah-langkah untuk menentukan risiko seismik kota sebagai penilaian risiko akhir untuk kota Jeddah. Studi ini menawarkan metode yang dapat diterapkan untuk analisis lebih lanjut dari kota sementara menekankan perbedaan yang jelas dari kerentanan untuk bangunan tempat tinggal yang dibangun berdasarkan kode seismik yang berbeda.

Rahman & Salik (2018) melakukan penelitian mengenai respon seismik struktur portal yang tidak beraturan dengan ketidakberaturan massa. Penelitian dilakukan terhadap perubahan distribusi kekakuan lateral akibat respon seismik pada tiap lantai karena perubahan massa pada struktur yang tidak beraturan secara *vertical*. Dengan menggunakan metode analisis linear statik dan dinamik sebagai evaluasi respon struktur dalam bentuk *story shear*, *story displacement*, dan *story drift* dengan menggunakan program *ETABS*. Dua model (struktur portal 1, dan 2) dimodelkan dengan model yang sama yaitu adanya ketidakberaturan secara vertikal namun, pada struktur portal 2 pada lantai 3 dan 7 diberi beban yang berbeda. Hasil analisa menunjukkan simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur portal 1 dan 2 mengalami perubahan yang sangat signifikan. Selain itu pada struktur portal 1 dan 2 meskipun memiliki perpindahan yang sama di semua lantai namun struktur portal 2 memperlihatkan perilaku yang lebih kritis

dibandingkan struktur portal 1. Hal ini dipengaruhi oleh ketidakberaturan struktur dan ketidakberaturan massa.

Anggreni dkk. (2016) melakukan penelitian tentang evaluasi peningkatan kekakuan dengan perbandingan antara gedung tanpa perkuatan *bracing*, dengan gedung menggunakan perkuatan *bracing* tipe X dan gedung menggunakan *bracing* tipe V, struktur dengan perkuatan rangka *bracing* memiliki nilai simpangan horisontal lebih kecil dibandingkan struktur gedung tanpa menggunakan sistem *bracing*. Penggunaan *bracing* dengan tipe X lebih baik dibandingkan tipe V memiliki selisih persentase sebesar 18,288%.

Hal tersebut di dukung dalam penelitian respon bangunan bertingkat banyak dengan kekakuan kolom tingkat dasar menggunakan rangka *bracing* dengan menggunakan 3 tipe pemasangan *bracing*. Pemasangan *bracing* memberikan kontribusi dalam mereduksi simpangan lateral, pada penggunaan bresing tipe V mampu mereduksi hingga 23,33% sedangkan pada penggunaan tipe X *bracing* mampu mereduksi sebesar 14,20%, penggunaan *bracing* pada bangunan bertingkat banyak mampu mereduksi simpangan lateral akibat beban gempa.

2.1. Dasar Teori

Dasar teori serta peraturan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada beberapa buku, Standar Nasional Indonesia (SNI).

2.2.1. Pembebanan

Dalam menganalisis suatu gedung bertingkat harus memperhatikan peraturan-peraturan yang digunakan pada perancangan gedung tersebut. Bangunan dengan struktur yang baik harus dapat menahan beban-beban yang akan diterima pada bangunan. Beban-beban tersebut telah dijelaskan didalam Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987) serta SNI 1727:2013 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain yaitu sebagai berikut:

- a. Beban mati adalah massa atau berat dari keseluruhan gedung yang sifatnya tidak berpindah atau tetap, termasuk semua barang tambahan

penyelesaian – penyelesaian, mesin dan beserta peralatan yang bersifat tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.

- b. Beban hidup adalah seluruh beban yang disebabkan oleh pengguna gedung dan beban terhadap lantai yang sifatnya dapat berpindah sehingga mengakibatkan perubahan pada lantai dan atap. Pada atap beban air hujan dan disebut sebagai beban hidup baik akibat dari genangan maupun energi kinetik atau tekanan jatuh dari air.
- c. Beban angin adalah seluruh beban yang bekerja pada bagian gedung yang diakibatkan tekanan udara.
- d. Beban gempa adalah seluruh beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung dan menirukan pergerakan tanah akibat terjadinya gempa. Beban gempa terdiri dari 3 jenis beban gempa yaitu beban gempa respon spektrum, *time history*, dan statik ekuivalen.

2.2.2. Analisis Gempa berdasarkan SNI 1726:2012

1. Gempa Rencana

Peraturan yang menunjukkan hubungan gempa rencana yang digunakan dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara luas. Perencanaan gempa ditentukan berupa gempa dengan persentase terlampaui selama struktur bangunan berumur 50 tahun yaitu sebesar 2 persen.

2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan jenis kategori resiko struktur gedung dan lainnya akibat gempa rencana terhadapnya perlu dikalikan terhadap faktor keutamaan I_e . Struktur bangunan yang masuk dalam kategori resiko IV, jika sewaktu-waktu diperlukan akses yang digunakan untuk keperluan dari struktur bangunan yang di sampingnya, maka struktur bangunan yang berada di sampingnya tersebut perlu direncanakan sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan Gempa (BSN, 2012)

Kategori Risiko	Faktor Keamanan Gempa I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung (BSN, 2012)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi keagalann termasuk, tapi tidak dibatasi utuk antara lain</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan konstruksi kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lainnya , kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan, rumah roko dan rumah kantor - Pasar gedung dan perkantoran - Gedung apartemen dan rumah susun - Pusat perbenlajaan/ mall - Bangunan industry, fasilitas manufaktur, pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia ketika mengalami kegagalan, seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - bioskop, - gedung pertemuan, - stadion, - fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, - fasilitas penitipan anak, - penjara, - bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung yang tidak tergolong kedalam kategori risiko IV, yang memiliki pengaruh terhadap ekonomi yang besar dan/atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari hari jika terjadi kegagalan , seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pusat pembangkit listrik biasa, - fasilitas penangan air, - fasilitas penanganan limbah, - pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan non gedung yang bukan tergolong kedalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracun atau bahan peledak yang dapat memicu bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang difungsikan sebagai fasilitas yang penting, seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> - bangunan monumental, - gedung pendidikan, - bangunan yang memiliki bedah dan unut gawar darurat (rumah sakit), - fasilitas pemadam kebakaran, kantor polisi serta garasi kendaraan darurat, tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, 	IV

Tabel 2. 3 Lanjutan kategori resiko bangunan dan gedung

<ul style="list-style-type: none"> - badai dan tempat perlindungan darurat lainnya. - fasilitas kesiapam darurat komunikasi pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat, - pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya, - sytuktur tambahan yang disyaratkan untuk beroperasi pada saatkeadaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yag dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risikoIV.</p>

3. Simpangan (*Drift*) akibat gaya gempa

Simpangan (*drift*) merupakan perpindahan antar dua lantai yang berdekatan atau perpindahan secara horizontal yang terjadi di tiap tingkat bangunan.

4. Penentuan simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 (BSN, 2012) simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat masa. Simpangan merupakan perpindahan (translasi) dari suatu titik akibat adanya gaya tang bekerja pada sebuah struktur. Besarnya simpangan tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.1)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada titik yang di syaratkan akibat gaya gempa desain

I_e = Faktor keutamaan gempa

5. Koefisien modifikasi respon

Nilai koefisien modifikasi respon (R) dan koefisien kuat lebih system (C_d) dari system penahan gaya gempa yang berbeda diperbolehkan jika digunakan, untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah ke dua sumbu orthogonal Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam peraturan gempa SNI 1726 2012. Nilai (R) dan (C_d) diperoleh dari Tabel 2.7

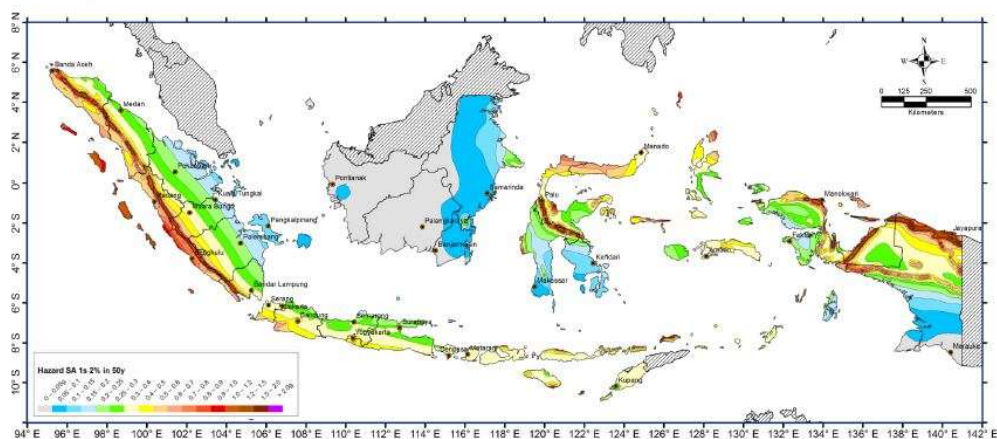
Tabel 2.4 Faktor R, Cd, dan Ω_0 (BSN, 2012)

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R ^a	Ω_0^g	C _d
Sistem rangka pemikul momen				
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5
9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5
10.	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5
11.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5
12.	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5

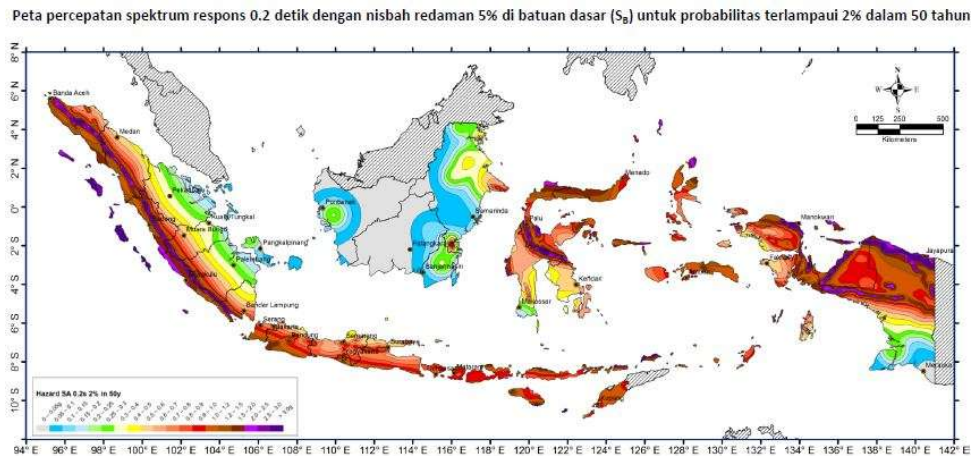
6. Peta Zona Gempa Indonesia

Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) ditentukan berdasarkan respon spectral percepatan dalam peta persepatan seismic dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun menurut.

Peta percepatan spektrum respons 1.0 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar (S_0) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2.1 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) (Pusat studi gempa nasional, 2017).



Gambar 2.2 Peta percepatan batuan dasar priode 0,2 (S_2) (Pusat studi gempa nasional, 2017).

7. Klasifikasi Situs

Keadaan lapisan sutau tanah dapat digolongkan menjad beberapa kelas situs, kelas situs berfungsi untuk memberi kn kriteria desain seismic berupa factor amplifikasi pada bangunan. Menurut wangsadinata (2006), proses penentuan klasifikasi berdasarkan data tanah pada kedalaman hingga 30 m, karena menurut pnelitian lapisan-lapisan tanah sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa. Sedangkan penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726-2012 dalam amplifikasi perumusan kriteria desain seismic suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus di klasifikasikan terlebih dahulu sesuai pada table kelas situs, berdasar profil tanah lapisan 30 m paling atas.

8. Bahaya (*hazard*) geologi dan investigasi geoteknik

a. Ketentuan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismic C hingga F

Laporan investigasi geoteknik yang sesuai dengan pasal ini, harus dipersiapkan untuk struktur dengan kategori desain seismic C hingga F. Suatu investigasi harus dilakukan dan laporan yang meliputi evaluasi potensi bahaya geologis dan seismic seperti di bawah ini harus dimasukkan:

- 1) Ketidakstabilan lereng.
- 2) Likuifaksi.

- 3) Penurunan total dan beda penurunan.
- 4) Perpindahan permukaan akibat patahan atau serakan lateral (*lateral spread*) atau aliran lateral (*lateral flow*) akibat getaran seismik.

Laporan harus berisi rekomendasi untuk desain fondasi atau langkah-langkah penanggulangan lainnya untuk mitigasi bahaya yang dijelaskan di atas.

- b. Persyaratan tambahan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik D hingga F

- 1) Penentuan tekanan lateral tanah seismik dinamik pada dinding besmen dan dinding penahan akibat gerak tanah gempa rencana;
- 2) Potensi likuifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_G). Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan (1) studi spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, atau (2) percepatan tanah puncak PGA_M .

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.2)$$

Keterangan :

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

PGA = percepatan tanah puncak

F_{PGA} = koefisien situs.

Tabel 2.5 Koefisien Situs F_{PGA} (BSN, 2012)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Catatan : Gunakan interpolasi *linear* untuk mendapatkan nilai PGA antara.

2.2.3. Wilayah Gempa dan Respons Spektrum

1. Wilayah Gempa dan Respons Spektrum

a. Parameter percepatan terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektrum percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan.

b. Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA,SB,SC,SD,SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE Dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF

c. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R). Untuk penentuan respons spektrum percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a). Dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) Yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.3)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_S = parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik. dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2. 6 Koefisien Situs, F_a (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spectral 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		

Catatan

(a) Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan Interpolasi linier.

(b) S_S = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2.7 Koefisien Situs, F_v (BSN, 2012)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1=0,2$	$S_1=0,3$	$S_1=0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	2,6	2,4
SF			SS^b		

Catatan

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan Interpolasi linier.

(b) S_S = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons situs-spesifik.

d. Parameter percepatan spektrum desain.

Parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

e. Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;

3. Untuk periode lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.8)$$

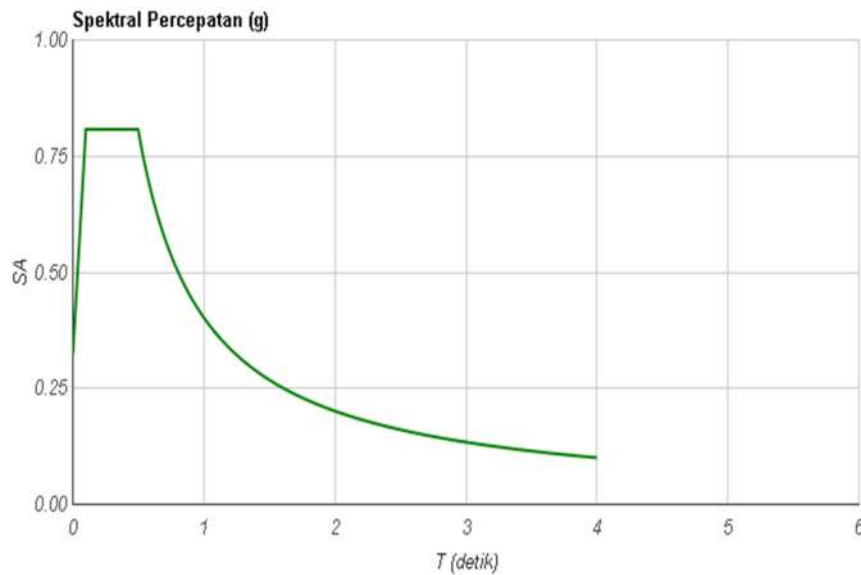
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

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

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.3 Spektrum respons desain (BSN, 2012).

2.2.4. Penentuan perioda

Perioda fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.7 dan perioda fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 2.2.5. Sebagai alternative pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai dengan 2.2.4.

2.2.5. Perioda fundamental pendekatan

Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.11)$$

Keterangan :

T_a parameter percepatan respon spektra, h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (BSN,2012)

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{DI}	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 perioda 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 dilingkupkan atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defelksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka baja pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

2.2.6. Analisis Statik Ekuivalen

Geser Dasar Seismik, V

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan-persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.12)$$

Dimana:

V : geser dasar seismik,

C_s : koefisien respons seismik ,

W : berat seismik efektif.

a. Koefisien Respons Seismik, C_s

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.13 Sedangkan nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 2.14 tidak perlu melebihi persamaan 2.15. Dan nilai C_s tidak boleh kurang dari persamaan 2.15.

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} \geq I_e 0,01 \quad (2.15)$$

Dengan :

S_{DS} : parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek,

R : faktor modifikasi respons

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.4,

C_s : koefisien respons seismik.