

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Pengaruh Gempa Pada Konstruksi Bangunan

Dalam keadaan statis, sebuah bangunan hanya memikul beban gravitasi yaitu beratnya sendiri dan beban hidup. Bila tanah bergetar, bangunan ini mengalami pengaruh dari getaran itu yang diteruskan keatas melalui pondasinya. Bila sangat kaku, bangunan itu sepenuhnya mengikuti gerakan dari permukaan tanah. (Tular:1984).

Namun pada kenyataanya suatu konstruksi bangunan tidak pernah sangat kaku sehingga tidak dapat sepenuhnya mengikuti pergerakan tanah. Sehingga timbul percepatan dan kecepatan yang berbeda dari tiap bagian bangunan. Dalam bukunya yang berjudul Perencanaan Bangunan Tahan Gempa, Tular menjelaskan ada tiga gaya yang timbul pada bangunan yang terjadi selama gempa berlangsung, yaitu:

1. Gaya Inertia, yang terjadi akibat masa mengalami percepatan
2. Gaya Redaman, yang terjadi akibat masa mengalami kecepatan.
3. Gaya Pegas, yang terjadi akibat adanya perpindahan relatif diantara berbagai masa.

B. Pembebanan

Dalam merancang suatu struktur bangunan harus memenuhi beberapa syarat agar tercipta struktur yang kokoh, aman serta memiliki durabilitas yang direncanakan. Salah satu syarat yang harus terpenuhi salah satunya adalah dalam hal pembebanan yang telah diatur dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung yang terbit tahun 1987. Beberapa beban tersebut diantaranya:

1. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban hidup yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energy kinetik) butiran air.

3. Beban Angin

Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

4. Beban Gempa

Beban gempa ialah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh pergerakan tanah akibat gempa itu.

5. Beban Khusus

Beban khusus ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

C. Analisis Gempa menurut SNI 03-1726-2002

1. Gempa rencana dan kategori gedung

Standar ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh Gempa Rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Gempa rencana ditetapkan mempunyai perioda ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan.

Tabel 3.1 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Sumber : SNI 03-1726-2002

KATEGORI GEDUNG	FAKTOR KEUTAMAAN		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara	1,5	1,0	1,5
Catatan: Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya			

2. Struktur gedung beraturan dan tidak beraturan

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- c. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- d. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- e. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- f. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat

- g. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat. yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- h. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- i. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

3. Jenis tanah dan perambatan gelombang gempa

pengaruh Gempa rencana di muka tanah harus ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah dengan menggunakan gerakan gempa masukan dengan percepatan puncak untuk batuan dasar menurut Tabel 3.2. Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis ini, harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidak-pastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, salah satunya harus diambil Gempa El Centro N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di California.

Tabel 3.2 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Sumber : SNI 03-1726-2002

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah Ao ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.03	0.04	0.08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0.1	0.12	0.15	0.23	
3	0.15	0.18	0.23	0.3	
4	0.2	0.24	0.28	0.34	
5	0.25	0.29	0.33	0.36	
6	0.3	0.33	0.36	0.36	

Batuan dasar adalah lapisan batuan di bawah muka tanah yang memiliki nilai basil Test Penetrasi Standar N paling rendah 60 dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai hasil Test Penetrasi Standar yang kurang dari itu, atau yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser yang mencapai 750 m/detik dan tidak ada lapisan batuan lain di bawahnya yang memiliki nilai kecepatan rambat gelombang geser yang kurang dari itu.

4. Pengaruh gempa vertikal

Unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi seperti balkon, kanopi dan balok kantilever berbentuk panjang, balok transfer pada struktur gedung tinggi yang memikul beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentuk panjang, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat pengaruh Gempa Rencana, berupa beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah yang besarnya harus dihitung sebagai perkalian faktor respons gempa vertikal C_v dan beban gravitasi, termasuk beban hidup yang sesuai.

5. Perencanaan umum struktur gedung

1) Struktur atas dan struktur bawah

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah, sedangkan struktur bawah adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di bawah muka tanah, yang terdiri dari struktur besmen (kalau ada) dan atau struktur fondasinya. Seluruh struktur bawah harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana.

Apabila tidak dilakukan analisis interaksi tanah-struktur, struktur atas dan struktur bawah dan suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh Gempa Rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada taraf lantai dasar. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya.

2) Struktur penahan beban gempa

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, semua unsur struktur gedung, baik: bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, lantai tanpa balok (lantai cendawan) dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana.

Pengabaian pemikulan pengaruh Gempa Rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau subsistem struktur gedung hanya diperkenankan, bila partisipasi pemikulan pengaruh gempanya adalah kurang dari 10%. Dalam hal ini, unsur atau subsistem tersebut selain terhadap beban gravitasi, juga harus direncanakan terhadap simpangan sistem struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung yang berperilaku elastik penuh, yaitu terhadap simpangan sebesar $RI \cdot 1,6$ kali simpangan akibat beban 1 gempa nominal pada struktur gedung tersebut,

di mana R adalah faktor reduksi gempa dari struktur gedung itu dan 1,6 adalah faktor reduksi gempa untuk struktur elastik penuh ($R = f1$).

Dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding-dinding geser dan rangka-rangka terbuka, beban geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang dipikul oleh rangka-rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut.

3) Lantai tingkat sebagai diafragma

Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya dan karenanya dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horisontal. Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung yang tidak kaku dalam bidangnya, karena mengandung lubang-lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat, akan mengalami deformasi dalam bidangnya akibat beban gempa horisontal, yang harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap pembagian beban gempa horisontal tersebut kepada seluruh sistem struktur tingkat yang ada.

6. Perencanaan Struktur Gedung Tidak beraturan

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut :

$$V \geq 0,8 V_1 \quad (3.1)$$

Keterangan: V = Gaya geser dinamik

V_1 = Gaya geser statik

7. Analisis respons dinamik riwayat waktu

Bila diinginkan, perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis dinamik 3 dimensi berupa analisis respons dinamik linier dan non-linier riwayat waktu dengan suatu akselerogram gempa yang dianggakan sebagai gerakan tanah masukan.

Untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik linier riwayat waktu terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncaknya A menjadi :

$$A = \frac{A_0 \cdot I}{R} \quad (3.2)$$

Dengan : A = Nilai percepatan puncak

A_0 = Percepatan puncak muka tanah

I = Faktor keutamaan

R = Faktor reduksi gempa

Dalam analisis ini redaman struktur yang harus diperhitungkan dapat dianggap 5% dari redaman kritis.

Untuk mengkaji perilaku pasca-elastik struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, harus dilakukan analisis respons dinamik non-linier riwayat waktu, di mana percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga nilai percepatan puncaknya menjadi sama dengan $A_0 \cdot I$.

Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis respons dinamik linier dan non-linier riwayat waktu, harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4

gempa yang berbeda, salah satunya harus diambil akselerogram Gempa El Centro N-S yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di California.

Berhubung gerakan tanah akibat gempa pada suatu lokasi tidak mungkin dapat diperkirakan dengan tepat, maka sebagai gempa masukan dapat juga dipakai gerakan tanah yang disimulasikan. Parameter-parameter yang menentukan gerakan tanah yang disimulasikan ini antara lain terdiri dari waktu getar dominan tanah, konfigurasi spektrum respons, jangka waktu gerakan dan intensitas gempanya.

D. Analisis Gempa menurut SNI 03-1726-2012

1. Gempa Rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 3.3 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Sumber : SNI 03-1726-2012

Jenis Pemanfaatan	Kategori
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	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"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	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"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion 	

<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massalterhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <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 kimiaberbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandungbahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batasyang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bangunan-bangunan monumental -Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan -Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah danunit gawat darurat -Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasikendaraan darurat 	

<ul style="list-style-type: none"> -Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya -Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat -Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. -Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur</p> <p>bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV
--	----

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

Sumber : SNI 03-1726-2012

Kategori resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

3. Klasifikasi Situs

Pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah

di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi getekniknya. Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

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

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

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

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (3.3)$$

Keterangan :

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

PGA = percepatan tanah puncak

F_{PGA} = koefisien situs.

Tabel 3.5 Koefisien Situs F_{PGA}

Sumber : SNI 03-1726-2012

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 linier untuk mendapatkan nilai PGA antara

5. Prosedur Respons Riwayat Waktu Gempa

a. Prosedur respons riwayat waktu linier

1) Persyaratan analisis

Analisis respons riwayat waktu linier harus terdiri dari analisis model matematis linier suatu struktur untuk menentukan responsnya melalui metoda integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerak tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

2) Analisis dua dimensi

Apabila analisis dua dimensi dilakukan maka setiap gerak tanah harus terdiri dari riwayat waktu percepatan tanah horisontal yang diseleksi dari rekaman gempa aktual. Percepatan tanah yang sesuai harus diambil dari rekaman peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Apabila jumlah rekaman gerak tanah yang sesuai tidak mencukupi maka harus digunakan rekaman gerak tanah buatan untuk menggenapi jumlah total yang dibutuhkan. Gerak-gerak tanah tersebut harus diskalakan sedemikian rupa sehingga nilai rata-rata spektrum respons dengan redaman 5 persen dari semua gerak tanah yang sesuai di situs tersebut tidak boleh kurang dari spektrum respons desain setempat untuk rentang perioda dari $0,2T$ hingga $1,5T$, di mana T adalah perioda getar alami struktur dalam ragam getar fundamental untuk arah respons yang dianalisis.

3) Analisis tiga dimensi

Apabila analisis tiga dimensi dilakukan maka gerak tanah harus terdiri dari sepasang komponen percepatan tanah horisontal yang sesuai, yang harus diseleksi dan di skalakan dari rekaman peristiwa gempa individual. Gerak tanah yang sesuai harus diseleksi dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki

magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Apabila jumlah pasangan rekaman gerak tanah yang sesuai tidak mencukupi maka harus digunakan pasangan gerak tanah buatan untuk menggenapi jumlah total yang dibutuhkan. Untuk setiap pasang komponen gerak tanah horisontal, suatu spektrum SRSS harus dibuat dengan mengambil nilai SRSS dari spektrum respons dengan 5 persen faktor redaman untuk komponen-komponen gerak tanah yang telah diskalakan (di mana faktor skala yang sama harus digunakan untuk setiap komponen dari suatu pasangan gerak tanah). Setiap pasang gerak-gerak tanah tersebut harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang perioda dari $0,2T$ hingga $1,5T$, nilai rata-rata spektrum SRSS dari semua pasang komponen horizontal tidak boleh kurang dari nilai ordinat terkait pada spektrum respons yang digunakan dalam desain. Untuk situs yang berada dalam jarak 5 km dari patahan aktif yang menjadi sumber bahaya gempa, setiap pasangan komponen gerak tanah harus dirotasikan ke arah normal-patahan dan arah sejajar-patahan sumber gempa dan harus diskalakan sedemikian rupa sehingga nilai rata-rata komponen normal patahan tidak kurang dari spektrum respons gempa MCER untuk rentang perioda dari $0,2T$ hingga $1,5T$.

4) Parameter respons

Untuk setiap gerak tanah yang dianalisis, parameter-parameter respons individual harus dikalikan dengan besaran skalar sebagai berikut:

- a) Parameter respons gaya harus dikalikan dengan $I_e \cdot R$, di mana I_e adalah faktor keutamaan gempa dan R adalah Koefisien Modifikasi Respons.

- b) Besaran simpangan antar lantai harus dikalikan dengan C_d/R di mana C_d adalah faktor pembesaran defleksi.

Untuk setiap gerak tanah i , di mana i adalah penamaan untuk setiap gerak tanah yang dipertimbangkan, nilai maksimum gaya geser dasar, V_i , gaya dalam elemen struktur, Q_{Ei} , yang diskalakan sebagaimana telah dijelaskan dalam bagian sebelumnya dan simpangan antar lantai, Δ_i , pada setiap lantai harus ditentukan. Apabila gaya geser dasar maksimum hasil analisis yang telah diskalakan, V_i , adalah kurang dari 85 persen nilai V yang ditentukan menggunakan nilai minimum C_s atau bila berada di lokasi dengan S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, menggunakan nilai minimum C_s , maka gaya-gaya elemen struktur yang diskalakan, Q_{Ei} , harus diperbesar dengan faktor skala V_i/V di mana V adalah gaya geser dasar minimum yang ditentukan dengan menggunakan nilai minimum C_s , atau bila berada di lokasi dengan S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, menggunakan nilai minimum C_s .

Apabila nilai gaya geser dasar maksimum hasil analisis yang telah diskalakan, V_i , adalah kurang dari $0,85 C_s W$, maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan $0,85 C_s W / V_i$.

Jika digunakan paling sedikit tujuh gerak tanah dalam analisis, gaya-gaya elemen struktur yang digunakan dalam kombinasi beban dan simpangan antar lantai yang digunakan dalam evaluasi simpangan antar lantai dapat diambil sebagai nilai rata-rata dari masing-masing nilai Q_{Ei} dan Δ_i yang diskalakan, yang dihasilkan dari analisis dengan menggunakan faktor skala sebagaimana yang telah ditentukan pada bagian sebelumnya. Apabila gerak tanah yang digunakan dalam analisis kurang dari tujuh, maka gaya-gaya elemen struktur dan simpangan antar lantai harus diambil sebagai nilai maksimum dari nilai Q_{Ei} dan Δ_i hasil analisis yang telah diskalakan.

b. Prosedur respons riwayat waktu non-Linier

1) Persyaratan analisis

Analisis respons riwayat waktu non linier harus terdiri dari analisis model matematis suatu struktur yang secara langsung memperhitungkan perilaku histeresis nonlinier elemen-elemen struktur untuk menentukan responsnya melalui metoda integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerak tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang ditinjau.

2) Pemodelan

Model matematis suatu struktur harus dibangun yang merepresentasikan distribusi spasial massa struktur secara keseluruhan. Perilaku histeresis elemen-elemen struktur harus dimodelkan yang konsisten dengan data uji laboratorium yang sesuai, dengan memperhatikan seluruh pelelehan yang signifikan, degradasi kekuatan, degradasi kekakuan dan penyempitan kurva histeresis yang diindikasikan dalam data uji tersebut. Kekuatan elemen-elemen struktur harus didasarkan atas nilai yang diharapkan dengan memperhatikan kuat lebih material, penguatan regangan, dan degradasi kekuatan histeresis. Sifat linier yang konsisten diperbolehkan untuk digunakan pada elemen-elemen struktur yang berdasarkan analisis tetap berada dalam rentang respons yang linier. Struktur harus diasumsikan terjepit sempurna pada dasar atau sebagai alternatif lain, diperbolehkan untuk menggunakan asumsi yang realistis yang memperhatikan karakteristik kekakuan dan daya dukung fondasi yang konsisten dengan data tanah spesifik situs dan prinsip-prinsip mekanika teknik yang rasional.

Untuk struktur beraturan dengan sistem-sistem penahan gaya gempa yang ortogonal dan independen, model 2-D yang independen diperbolehkan dalam analisis untuk merepresentasikan masing-masing sistem. Untuk struktur yang memiliki ketidakberaturan struktur horisontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 atau struktur tanpa sistem ortogonal

yang independen, maka model 3-D dengan menggunakan minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi pada dua arah ortogonal pada denah dan rotasi torsional terhadap sumbu vertikal pada setiap lantai struktur harus digunakan dalam analisis. Apabila diafragma struktur tidak kaku dibandingkan dengan elemen-elemen struktur vertikal sistem penahan gaya gempa, maka model harus mengikutkan representasi fleksibilitas diafragma, dan dalam hal ini diperlukan penambahan derajat kebebasan dinamik sesuai dengan kebutuhan untuk memperhitungkan partisipasi diafragma tersebut dalam respons dinamik struktur.

3) Parameter respons

Untuk setiap gerak tanah yang dianalisis, parameter respons individu yang terdiri dari nilai maksimum gaya-gaya elemen individu, Q_{Ei} , deformasi inelastik elemen, Ψ_i , dan simpangan antar lantai Δ_i , pada setiap lantai harus ditentukan, di mana i adalah penamaan untuk setiap gerak tanah yang dipertimbangkan.

Jika digunakan paling sedikit tujuh gerak tanah dalam analisis, nilai-nilai desain untuk gaya-gaya elemen, Q_E , deformasi inelastik elemen, Ψ dan simpangan antar lantai, Δ diperbolehkan untuk diambil sebagai nilai rata-rata dari nilai-nilai Q_{Ei} , Δ_i , dan Ψ_i , yang diperoleh dari analisis. Apabila jumlah gerak tanah yang digunakan dalam analisis kurang dari tujuh, nilai-nilai desain untuk gaya-gaya elemen, Q_E , deformasi inelastik elemen, Ψ dan simpangan antar lantai, Δ harus diambil sebagai nilai maksimum dari nilai-nilai Q_{Ei} , Ψ_i , dan Δ_i yang diperoleh dari analisis.

4) Deformasi elemen

Kecukupan elemen individu dan sambungannya untuk menahan nilai deformasi desain, Ψ_i , seperti yang diprediksi oleh analisis harus dievaluasi berdasarkan data uji laboratorium untuk elemen yang serupa. Pengaruh beban gravitasi dan beban lainnya terhadap kapasitas deformasi elemen harus dipertimbangkan dalam evaluasi ini.

Deformasi elemen tidak boleh melebihi dua per tiga nilai deformasi yang menyebabkan hilangnya kemampuan struktur untuk memikul beban gravitasi atau yang menyebabkan penurunan kekuatan elemen hingga kurang dari 67 persen nilai puncaknya.

5) Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai Δ_i , yang didapat dari analisis tidak boleh melebihi 125 persen batasan simpangan antar lantai.

6) Penelaahan desain

Penelaahan desain sistim penahan gaya gempa dan analisis struktural harus dilakukan oleh tim perencana profesional terdaftar yang independen, dalam disiplin ilmu yang sesuai, dan tim-tim lain yang berpengalaman dalam metoda analisis seismik serta teori dan aplikasi analisis seismik nonlinier termasuk perilaku struktur terhadap beban siklis yang ekstrim. Penelaahan desain harus mencakup, tetapi tidak terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

- a) Penelaahan setiap kriteria seismik spesifik-situs yang digunakan dalam analisis termasuk pengembangan spektrum spesifik-situs dan riwayat waktu gerak tanah;
- b) Penelaahan kriteria penerimaan yang digunakan untuk menunjukkan kecukupan elemen dan sistem struktur untuk menahan kebutuhan gaya dan deformasi yang dihitung, termasuk data laboratorium dan data lainnya yang digunakan untuk mendukung kriteria tersebut;
- c) Penelaahan hasil desain awal termasuk pemilihan sistem struktur dan konfigurasi elemen-elemen struktur;
- d) Penelaahan hasil desain akhir untuk seluruh sistem struktur dan analisis pendukungnya.