

Rancangan Standar Nasional Indonesia

**STANDAR PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA
UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG
DAN NON GEDUNG**

RSNI 03-1726-xxxx

Daftar Isi

Daftar Isi	2
1. RUANG LINGKUP	8
1.1. SNI 1726 2010 Sebagai Revisi SNI 1726 2002	8
1.2. Lingkup Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung	8
2. ACUAN	8
3. ISTILAH DAN NOTASI	8
3.1. Istilah	8
3.2. Notasi	12
4. KETENTUAN UMUM	15
4.1. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	15
4.1.1 Gempa Rencana	15
4.1.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	15
4.2. Kombinasi Beban Terfaktor dan Beban Layan	16
4.2.1 Lingkup Penerapan	16
4.2.2 Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit	16
4.2.3 Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin	17
5. PROSEDUR KLASIFIKASI SITUS UNTUK DISAIN SEISMIK	17
5.1. Klasifikasi Situs	17
5.2. Analisis Respons Situs untuk Tanah Kelas Situs SF	18
5.3. Definisi Kelas Situs	18
5.3.1 Tanah Khusus, Kelas Situs SF	18
5.3.2 Tanah Lunak, Kelas Situs SE	18
5.3.3 Kelas Situs SC, SD dan SE	19
5.3.4 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SB	19
5.3.5 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SA	19
5.4. Definisi Untuk Parameter Kelas Situs	19
5.4.1 Kecepatan Rata-Rata Gelombang Geser, \bar{v}_s	19
5.4.2 Tahanan Penetrasi Standar Lapangan Rata-Rata, \bar{N} , dan Tahanan Penetrasi Standar Rata-Rata untuk Lapisan Tanah Non-Kohesif, \bar{N}_{ch}	19
5.4.3 Kuat Geser Niralir Rata-Rata, \bar{s}_u	20
6. WILAYAH GEMPA DAN SPEKTRUM RESPONS	20
6.1. Parameter Percepatan Gempa	20
6.1.1 Parameter Percepatan Terpetakan	20
6.1.2 Kelas Situs	20
6.2. Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Spektral Respons Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)	20
6.3. Parameter Percepatan Spektral Disain	21
6.4. Spektrum Respons Disain	21
6.5. Kategori Disain Seismik	22
6.6. Persyaratan Perancangan untuk Kategori Disain Seismik A	23
6.6.1 Persyaratan Beban Gempa	23
6.6.2 Sambungan untuk Lintasan Beban Gempa	23
6.6.3 Gaya Lateral	23
6.6.4 Sambungan pada Tumpuan	23
6.6.5 Pengangkur Dinding Struktural	23
6.7. Bahaya (<i>Hazard</i>) Geologi dan Investigasi Geoteknik	24
6.7.1 Batasan Situs untuk Kategori Disain Seismik E dan F	24

6.7.2	Ketentuan Laporan Investigasi Geoteknik untuk Kategori Disain Seismik C hingga F	24
6.7.3	Persyaratan Tambahan Laporan Investigasi Geoteknik untuk Kategori Disain Seismik D Hingga F	24
6.8.	Spektrum Respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)	25
6.9.	Prosedur Gerak Tanah pada Spesifik-Situs	25
6.9.1	Analisis Respons Situs	25
6.9.2	Analisis Bahaya (<i>Hazard</i>) Gerak Tanah untuk Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)	26
6.9.3	Spektrum-Respons Disain	26
6.9.4	Parameter-Parameter Percepatan Disain	26
6.9.5	Percepatan Tanah Puncak Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCE_G)	27
7.	PERENCANAAN UMUM STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG	27
7.1.	Struktur Atas dan Struktur Bawah	27
7.1.1	Persyaratan Dasar	27
7.1.2	Disain Elemen Struktur, Disain Sambungan, dan Batasan Deformasi	28
7.1.3	Lintasan Beban yang Menerus dan Keterhubungan	28
7.1.4	Sambungan ke Tumpuan	28
7.1.5	Disain Fondasi	28
7.1.6	Persyaratan Disain dan Pendetailan Material	29
7.2.	Struktur Penahan Beban Seismik	29
7.2.1	Pemilihan Sistem Struktur	29
7.2.2	Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda	29
7.2.3	Kombinasi Sistem Rangka dalam Arah yang Sama	32
7.2.4	Persyaratan Pendetailan Rangka Kombinasi	33
7.2.5	Persyaratan Spesifik Sistem	33
7.3.	Lantai Tingkat Sebagai Diafragma, Ketidakberaturan Konfigurasi, dan Redundansi	35
7.3.1	Fleksibilitas Diafragma	35
7.3.2	Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	36
7.3.3	Batasan dan Persyaratan Tambahan untuk Sistem dengan Ketidakberaturan Struktur.	37
7.3.4	Redundansi	38
7.4.	Kombinasi dan Pengaruh Beban Seismik	39
7.4.1	Lingkup Penerapan	39
7.4.2	Pengaruh Beban Seismik	39
7.4.3	Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat-Lebih	40
7.4.4	Gaya Ke Atas Minimum untuk Kantilever Horisontal untuk Kategori Disain Seismik D sampai F	41
7.5.	Arah Pembebanan Seismik	41
7.5.1	Kriteria Arah Pembebanan	41
7.5.2	Kategori Disain Seismik B	42
7.5.3	Kategori Disain Seismik C	42
7.5.4	Kategori Disain Seismik D sampai F	42
7.6.	Prosedur Analisis	42
7.7.	Kriteria Pemodelan	42
7.7.1	Pemodelan Fondasi	42
7.7.2	Berat Seismik Efektif	42
7.7.3	Pemodelan Struktur	43
7.7.4	Pengaruh Interaksi	43
7.8.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	43
7.8.1	Geser Dasar Seismik	43

7.8.2	Perioda Alami Fundamental	44
7.8.3	Distribusi Vertikal Gaya Gempa	45
7.8.4	Distribusi Horisontal Gaya Gempa	46
7.8.5	Guling	47
7.8.6	Penentuan Simpangan Antar Lantai	47
7.8.7	Pengaruh P-Delta	48
7.9.	Analisis Spektrum Respons Ragam.....	48
7.9.1	Jumlah Ragam	48
7.9.2	Parameter Respons Ragam	48
7.9.3	Parameter Respons Terkombinasi	48
7.9.4	Skala Nilai Disain untuk Respons Terkombinasi	49
7.9.5	Distribusi Geser Horisontal	49
7.9.6	Pengaruh P-Delta	49
7.9.7	Reduksi Interaksi Tanah Struktur	49
7.10.	Diafragma, Kord, dan Kolektor	50
7.10.1	Disain Diafragma	50
7.10.2	Elemen Kolektor	50
7.11.	Dinding Struktural dan Pengangkurannya.....	51
7.11.1	Disain untuk Gaya Melintang Bidang.....	51
7.11.2	Pengangkur Dinding Struktural dan Penyaluran Gaya pada Diafragma.....	51
7.12.	Simpangan Antar Lantai dan Deformasi	52
7.12.1	Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat	52
7.12.2	Defleksi Diafragma	53
7.12.3	Pemisahan Struktur Bangunan	53
7.12.4	Komponen-Komponen yang Membentang Antar Struktur.....	53
7.12.5	Kompatibilitas Deformasi untuk Kategori Disain Seismik D sampai F	54
7.13.	Disain Fondasi	54
7.13.1	Dasar Disain	54
7.13.2	Material Konstruksi.....	54
7.13.3	Karakteristik Beban-Deformasi Fondasi.....	54
7.13.4	Reduksi Penggulingan Fondasi.....	54
7.13.5	Persyaratan untuk Struktur Yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik C ...	54
7.13.6	Persyaratan untuk Struktur Yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik D sampai F	55
7.14.	Persyaratan Perancangan dan Pendetailan Bahan	56
7.14.1	Persyaratan Pendetailan Tambahan untuk Tiang Baja dalam Kategori Disain Seismik D sampai F.....	56
7.14.2	Persyaratan Pendetailan Tambahan untuk Tiang Beton	56
8.	KRITERIA DISAIN STRUKTUR YANG DISEDERHANAKAN UNTUK DINDING PENUMPU ATAU SISTEM RANGKA BANGUNAN SEDERHANA.....	59
8.1.	Umum	59
8.1.1	Prosedur Disain Penyederhanaan	59
8.2.	Dasar Disain	62
8.3.	Pengaruh Beban Gempa dan Kombinasi	62
8.3.1	Pengaruh Beban Gempa	62
8.3.2	Pengaruh Beban Gempa Termasuk Faktor Kuat-Lebih 2,5.....	63
8.4.	Sistem Penahan Gaya Gempa.....	64
8.4.1	Pemilihan dan Batasan.....	64
8.4.2	Kombinasi Sistem Rangka.....	65
8.5.	Fleksibilitas Diafragma	65
8.6.	Penerapan Pembebanan	65
8.7.	Persyaratan Disain dan Pendetailan.....	65

8.7.1	Sambungan	65
8.7.2	Bukaan atau Sudut Dalam Bangunan	66
8.7.3	Elemen Kolektor	66
8.7.4	Diafragma	66
8.7.5	Pengankuran Dinding Struktural	66
8.7.6	Dinding Penumpu dan Dinding Geser	67
8.7.7	Pengankuran Sistem Non struktural	67
8.8.	Prosedur Analisis Gaya Lateral Penyederhanaan	67
8.8.1	Geser Dasar Seismik	67
8.8.2	Distribusi Vertikal	68
8.8.3	Distribusi Geser Horisontal	68
8.8.4	Guling	68
8.8.5	Batasan Simpangan Antar Lantai dan Pemisahan Bangunan	68
9.	PERSYARATAN DISAIN SEISMIK PADA ELEMEN NONSTRUKTURAL	68
9.1.	Ruang Lingkup	68
9.1.1	Kategori Disain Seismik dan Faktor Keutamaan Elemen	69
9.1.2	Pengecualian-kecualian	69
9.1.3	Penerapan Ketentuan Elemen Nonstruktural pada Struktur Bangunan Non-Gedung	69
9.2.	Pengaruh Gempa Rencana	69
9.2.1	Gaya Seismik Disain	69
9.2.2	Perpindahan Relatif Seismik	70
9.2.3	Perpindahan dalam Struktur	70
9.2.4	Perpindahan antara Struktur	71
9.3.	Pengankuran Elemen Nonstruktural	71
9.3.1	Umum	71
9.3.2	Gaya Disain	71
9.3.3	Angkur pada Beton atau Bata	71
9.3.4	Kondisi Pemasangan	72
9.3.5	Tambahan Majemuk	72
9.3.6	Baut dengan Pengencang Mesin	72
9.3.7	Klip Friksi	72
9.4.	Elemen Arsitektural	72
9.4.1	Umum	72
9.4.2	Gaya dan Perpindahan	72
9.5.	Elemen Mekanikal dan Elektrikal	73
9.5.1	Umum	73
10.	PENGARUH GEMPA PADA STRUKTUR BANGUNAN NON GEDUNG	75
10.1.	Ruang Lingkup	75
10.1.1	Struktur Bangunan Non Gedung	75
10.1.2	Prosedur Analisis Struktur	75
10.1.3	Struktur Bangunan Non Gedung yang Menumpu pada Struktur Lain	75
10.2.	Ketentuan-ketentuan Disain Strukur	75
10.2.1	Dasar Perencanaan	75
10.2.2	Faktor Keutamaan	76
10.2.3	Struktur Bangunan Non Gedung Kaku	76
10.2.4	Beban	76
10.2.5	Periode Fundamental	76
10.2.6	Persyaratan Simpangan	77
10.2.7	Spektrum Respons Spesifik-Situs (<i>Site-Specific Response Spectra</i>)	77
11.	PROSEDUR RESPONS RIWAYAT WAKTU GEMPA	79
11.1.	Prosedur Respons Riwayat Waktu Linier	79
11.1.1	Persyaratan Analisis	79

11.1.2	Pemodelan.....	79
11.1.3	Gerak Tanah.....	79
11.1.4	Parameter Respons.....	79
11.1.5	Distribusi Gaya Geser Horisontal.....	80
11.2.	Prosedur Respons Riwayat Waktu Nonlinier.....	80
11.2.1	Persyaratan Analisis.....	80
11.2.2	Pemodelan.....	80
11.2.3	Gerak Tanah dan Pembebanan Lainnya.....	81
11.2.4	Parameter Respons.....	81
11.2.5	Penelaahan Disain.....	81
12.	STRUKTUR DENGAN ISOLASI DASAR.....	81
12.1.	Ruang Lingkup.....	81
12.1.1	Variasi Properti Material.....	82
12.2.	Persyaratan Perencanaan Umum.....	82
12.2.1	Faktor Keutamaan.....	82
12.2.2	Parameter Percepatan Spektral Respons MCE_R , S_{MS} dan S_{MI}	82
12.2.3	Konfigurasi.....	82
12.2.4	Sistem Isolasi.....	82
12.2.5	Sistem Struktural.....	83
12.2.6	Elemen-elemen Struktural dan Nonstruktural.....	84
12.3.	Gerak Tanah untuk Sistem Isolasi.....	84
12.3.1	Spektrum Rencana.....	84
12.3.2	Riwayat Gerak Tanah.....	84
12.4.	Pemilihan Prosedur Analisis.....	84
12.4.1	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen.....	84
12.4.2	Prosedur Dinamis.....	85
12.5.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen.....	85
12.5.1	Umum.....	85
12.5.2	Karakteristik Deformasi Sistem Isolasi.....	85
12.5.3	Perpindahan Lateral Minimum.....	85
12.5.4	Gaya Lateral Minimum.....	87
12.5.5	Distribusi Vertikal Gaya.....	88
12.5.6	Batas Simpangan Antar Lantai.....	88
12.6.	Prosedur Analisis Dinamis.....	88
12.6.1	Umum.....	88
12.6.2	Pemodelan.....	88
12.6.3	Penjelasan Prosedur.....	89
12.6.4	Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum.....	90
12.7.	Peninjauan Kembali Perencanaan.....	91
12.8.	Pengujian.....	91
12.8.1	Umum.....	91
12.8.2	Pengujian Prototipe.....	91
12.8.3	Penentuan Karakteristik Gaya-Lendutan.....	93
12.8.4	Kelayakan Benda Uji.....	93
12.8.5	Properti Rencana Sistem Isolasi.....	93
13.	INTERAKSI TANAH-STRUKTUR UNTUK DISAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA.....	94
13.1.	Umum.....	94
13.2.	Prosedur Penentuan Gaya Lateral Ekuivalen.....	94
13.2.1	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>).....	95
13.2.2	Distribusi Vertikal Gaya-Gaya Gempa.....	98
13.2.3	Pengaruh Lain.....	98
13.3.	Prosedur Analisis Ragam.....	98

13.3.1	Beban Geser Dasar Ragam	98
13.3.2	Pengaruh Ragam Lainnya	99
13.3.3	Nilai untuk Disain	99
13.4.	Interaksi Tanah dan Struktur untuk Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	99
14.	PETA-PETA GERAK TANAH SEISMIK DAN KOEFISIEN RISIKO	100

1. RUANG LINGKUP

1.1. SNI 1726 2010 Sebagai Revisi SNI 1726 2002

Standar ini dimaksudkan sebagai pengganti Standar Nasional Indonesia SNI 03-1726-2002 dan untuk selanjutnya menjadi persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, kecuali untuk struktur bangunan yang ditentukan dalam Pasal 1.2.

1.2. Lingkup Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung

Syarat-syarat perencanaan struktur bangunan gedung dan non gedung tahan gempa yang ditetapkan dalam Tata Cara ini tidak berlaku untuk bangunan sebagai berikut :

- Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kelayakannya.
- Struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur bangunan irigasi dan bendungan, struktur menara transmisi listrik, serta struktur anjungan pelabuhan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Untuk struktur-struktur bangunan yang disebutkan dalam batasan tersebut di atas, perencanaan harus dilakukan dengan menggunakan Tata Cara dan Pedoman Perencanaan yang terkait, dan melibatkan tenaga-tenaga ahli utama di bidang rekayasa struktur dan geoteknik.

2. ACUAN

Standar ini menggunakan acuan dokumen:

- BSN (2002), "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)"
- FEMA (2009), "*National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) Recommended Gempa Provisions for New Buildings and Other Structures,*" 2009 Edition, FEMA P-750
- IBC (2009), "*International Building Code,*" International Code Council.
- ASCE (2010) "*Minimum Disain Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10),*" ASCE.

3. ISTILAH DAN NOTASI

3.1. Istilah

Kecuali tidak sesuai atau tidak ada hubungannya dengan yang ditetapkan dalam Standar ini, maka dalam Standar ini berlaku beberapa pengertian sebagai berikut :

Analisis:

Analisis Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*) pada Struktur Bangunan: Suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi non-linier, di mana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat-pusat massa, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut, struktur bangunan mengalami perubahan bentuk elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen pada Struktur Gedung Beraturan: suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi, sehingga respons dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen.

Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen pada Struktur Gedung Tidak Beraturan: suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen yang telah dijabarkan dari pembagian gaya geser tingkat maksimum dinamik sepanjang tinggi struktur gedung yang telah diperoleh dari hasil analisis respons dinamik elastik linier 3 dimensi.

Analisis Perambatan Gelombang: Suatu analisis untuk menentukan pembesaran gelombang gempa yang merambat dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah, dengan data tanah di atas batuan dasar dan gerakan gempa masukan pada kedalaman batuan dasar sebagai data masukannya.

Analisis Ragam Spektrum Respons: suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metoda analisis yang dikenal dengan analisis ragam spektrum respons, di mana respons dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respons dinamik maksimum masing-masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respons Gempa Rencana.

Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu Linier: suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerak tanah akibat Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data masukan, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metoda integrasi langsung atau dapat juga melalui metoda analisis ragam.

Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu Non-Linier: suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linier) maupun elasto-plastis (non-linier) terhadap gerak tanah akibat Gempa Rencana sebagai data masukan, di mana respons dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metoda integrasi langsung.

Arah Horizontal Ortogonal Utama: Arah ortogonal yang mengendalikan elemen penahan gaya lateral.

Balok Kopel: Balok yang difungsikan untuk menghubungkan dua elemen dinding struktural agar bekerja sebagai satu kesatuan dalam menahan gaya lateral akibat gempa.

Beban Nominal:

Beban Gempa Nominal Secara Umum: Beban gempa yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu dan oleh nilai faktor modifikasi respons struktur. Menurut standar ini, peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur bangunan 50 tahun adalah 2 persen dan gempa yang menyebabkannya disebut Gempa Rencana (dengan perioda ulang 2500 tahun). Nilai faktor modifikasi respons struktur dapat ditetapkan sesuai dengan kebutuhan.

Beban Hidup Nominal yang Bekerja pada Struktur Bangunan: Beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan bangunan tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dapat berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari bangunan, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Beban hidup rencana yang biasa ditetapkan dalam standar standar pembebanan struktur bangunan, dapat dianggap sebagai beban hidup nominal.

Beban Mati Nominal: Beban yang berasal dari berat sendiri semua bagian bangunan yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Beban mati rencana yang biasa ditetapkan dalam standar standar pembebanan struktur bangunan dapat dianggap sebagai beban mati nominal.

Beton dengan Perkuatan: Beton prategang ataupun non prategang dengan penggunaan perkuatan baja yang memenuhi syarat penulangan minimum (SNI 03-1784-2002), dan didesain dengan asumsi bahwa kedua material tersebut bekerja sebagai satu kesatuan untuk menahan gaya-gaya yang bekerja.

Deformasi:

Deformasi Batas: (*limit deformation*) Dua kali nilai deformasi awal yang terjadi pada beban sebesar 40 persen dari kuat maksimum.

Deformasi Ultimit: (*ultimate deformation*) Deformasi saat terjadi kegagalan, dan dapat dianggap terjadi jika beban yang dapat dipikul tereduksi ke 80 persen atau kurang dari kuat maksimum.

Deformabilitas: Nilai perbandingan (rasio) dari deformasi ultimit terhadap deformasi batas.

Elemen Deformabilitas Tinggi: elemen dimana deformabilitasnya tidak kurang dari 3,5.

Elemen Deformabilitas Terbatas: elemen yang tidak termasuk dalam kategori deformabilitas tinggi ataupun rendah.

Elemen Deformabilitas Rendah: elemen dimana deformabilitasnya adalah 1,5 atau kurang.

Degradasi (*Scragging*): beban siklik atau kerja produk karet, termasuk isolator elastomer, mengakibatkan pengurangan properti kekakuan, yang sebagian akan dipulihkan dengan berjalannya waktu.

Diafragma: atap, lantai, membran atau sistem bresing yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya lateral ke elemen penahan vertikal.

Efek P-Delta: efek sekunder yang bekerja pada elemen struktur, yang diakibatkan oleh penambahan beban vertikal sebagai akibat dari perpindahan horisontal struktur.

Elemen Batas (*Boundary Elements*): bagian dari diafragma dan dinding geser, dimana gaya lateral yang terjadi akan disalurkan melalui bagian ini.

Fondasi Tiang: Elemen fondasi dalam, termasuk di dalamnya fondasi tiang bor, tiang pancang, tiang tekan.

Gaya Geser Dasar: gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar.

Gaya Geser Tingkat: gaya geser yang bekerja di atas tingkat yang ditinjau.

Gempa Disain: Pengaruh gempa yang besarnya dua per tiga dari pengaruh *MCE*

Gempa Karakteristik: Suatu taksiran magnitudo gempa sebesar prakiraan gempa maksimum yang mungkin terjadi pada suatu sesar tertentu, tetapi tidak kurang dari magnitudo terbesar yang terjadi dalam rekaman historik untuk sesar tersebut.

Gerak Tanah Gempa Disain: Gerak tanah yang besarnya dua per tiga gerak tanah *MCE*.

Gerak Tanah Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan: Pengaruh gempa terparah yang dipertimbangkan dalam standar ini, secara lebih spesifik, didefinisikan dalam dua butir berikut ini.

Percepatan Tanah Puncak (*PGA*) Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (*MCE_G*): Gempa terparah dalam standar ini, yakni nilai rata-rata geometrik percepatan tanah puncak (*PGA*), didapatkan tanpa penyesuaian untuk risiko yang ditargetkan. Percepatan puncak *MCE_G* yang telah disesuaikan terhadap pengaruh situs (*site effect*, *PGA_M*) digunakan untuk evaluasi likuifaksi, serakan lateral (*lateral spreading*), penurunan seismik, dan masalah geoteknik lainnya. Dalam standar ini, prosedur untuk menetapkan *PGA_M* diatur dalam **Pasal 6.7.3**, dan prosedur spesifik situs (*site specific*) diatur dalam **Pasal 6.9**.

Percepatan Respons Gerak Tanah Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan (*MCE_R*): Gempa terparah dalam standar ini, ditetapkan dalam arah/orientasi yang menghasilkan respons gerak tanah horisontal maksimum terbesar, dan disesuaikan dengan risiko yang ditargetkan. Dalam standar ini, prosedur untuk menetapkan *MCE_R* diatur dalam Pasal 6, dan prosedur spesifik situs (*site specific*) diatur dalam **Pasal 6.9**

Kekakuan Efektif: nilai gaya lateral dari sistem isolasi, atau suatu elemen daripadanya, dibagi dengan perpindahan lateral akibat gaya lateral tersebut

Kelas Situs: klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan

Komponen: bagian dari sistem arsitektural, elektrik, atau mekanikal.

Komponen Nonstruktural: bagian dari sistem arsitektural, elektrik, atau mekanikal yang berada di sisi dalam atau luar bangunan gedung ataupun bangunan non gedung.

Komponen Fleksibel: komponen nonstruktural yang mempunyai perioda alami lebih besar dari atau sama dengan 0,06 detik.

Komponen Kaku: komponen nonstruktural yang mempunyai perioda alami kurang dari atau sama dengan 0,06 detik.

Lendutan Maksimum: lendutan lateral akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan, tidak termasuk lendutan tambahan akibat torsi yang sesungguhnya dan torsi tak terduga.

Lendutan Rencana: lendutan lateral gempa rencana, tidak termasuk lendutan tambahan akibat torsi yang sesungguhnya dan torsi tak terduga, yang diperlukan untuk perencanaan sistem isolasi.

Lendutan Total Rencana: lendutan lateral gempa rencana, termasuk lendutan tambahan akibat torsi yang sesungguhnya dan torsi tak terduga, diperlukan untuk perencanaan sistem isolasi atau suatu elemen daripadanya.

Lendutan Total Maksimum: lendutan lateral gempa maksimum yang dipertimbangkan, termasuk lendutan tambahan akibat torsi yang sesungguhnya dan torsi tak terduga, diperlukan untuk verifikasi kestabilan sistem isolasi atau suatu elemen daripadanya, perencanaan pemisahan struktur, dan tes beban vertikal prototype masing-masing isolator.

Ortogonal: dalam dua arah, dan keduanya membentuk sudut 90°

Partisi: dinding interior nonstruktural yang membentang horisontal dan vertikal dari tumpuan yang satu ke tumpuan yang lain.

Pemisahan Isolasi: batas antara bagian atas struktur, yang terisolasi, dengan bagian bawah struktur, yang bergerak secara kaku dengan tanah.

Pur: (*pile cap*) Elemen fondasi dalam yang menggabungkan fondasi tiang, termasuk di sini adalah balok pengikat dan rakit fondasi.

Rasio Simpangan Antar Lantai: simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai (h_x) tersebut

Rasio Tulangan Longitudinal: luas total dari penampang tulangan longitudinal dibagi dengan luas penampang dari beton

Redaman Efektif: nilai redaman viscous ekuivalen sesuai dengan energi disipasi pada waktu respons siklik sistem isolasi.

Sesar Aktif: Sesar atau patahan yang dinyatakan aktif oleh yang berwenang berdasarkan data yang memadai. Yang berwenang adalah instansi, antara lain seperti: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral; dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Simpangan Antar Lantai: perpindahan horisontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya seperti yang didefinisikan pada pasal 7.8.6.

Sistem Isolasi: kumpulan elemen-elemen struktural meliputi semua unit masing-masing isolator, semua elemen-elemen struktural yang mengalihkan gaya antara elemen-elemen dari sistem isolasi dan semua penghubung ke elemen-elemen struktur lainnya. Sistem isolasi juga termasuk sistem penahan angin, peralatan energi disipasi, dan/atau sistem penahan perpindahan jika sistem dan peralatan tersebut digunakan untuk memenuhi persyaratan perencanaan di bab ini.

Sistem Pembatasan Perpindahan: suatu kumpulan elemen-elemen struktural yang membatasi perpindahan lateral dari struktur dengan isolasi seismik akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan.

Sistem Pengekang Angin: kumpulan elemen-elemen struktural yang mengekang struktur yang menggunakan isolasi seismik terhadap beban angin. Sistem pengekang angin dapat sebagai suatu bagian dari unit isolator atau sebagai suatu peralatan yang terpisah

Sistem Struktur:

Rangka Bresing Konsentris: rangka bresing dimana anggotanya difungsikan untuk menahan gaya aksial, selain dapat juga difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa. Sistem ini terdiri atas Rangka Bresing Konsentris Biasa dan Rangka Bresing Konsentris Khusus.

Rangka Bresing Eksentris: rangka bresing diagonal dimana salah satu dari ujung bresing tersebut terhubung ke balok, namun sejarak tertentu dari sambungan balok-kolom, atau terhubung dengan bresing diagonal yang lain. Sistem rangka ini dapat difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa.

Sistem Dinding Penumpu: sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, dimana beban gravitasi tersebut dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

Sistem Ganda: sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing.

Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka: sistem struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa.

Sistem Kolom Kantilever: sistem struktur penahan gaya gempa, dimana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom yang berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung.

Sistem Rangka Gedung: sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul dinding geser ataupun oleh rangka bresing.

Sistem Rangka Pemikul Momen: sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

Struktur Non Gedung: suatu struktur, tetapi bukan gedung, dibangun menjadi suatu type bangunan yang termasuk dalam Bab 10, dengan batasan-batasan yang diatur pada Pasal 10.1.1

Struktur Non Gedung Menyerupai Gedung: suatu struktur non gedung yang direncanakan dan dibangun dengan cara-cara yang menyerupai gedung, dan memiliki sistem penahan gaya vertikal dan lateral, yang sepadan dengan salah satu dari tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 7.2-1 atau Tabel 10.2-1

Struktur Tipe Bandul Terbalik: suatu struktur kantilever yang langsing di mana lebih dari 50 persen massa struktur terpusat di puncak struktur, dan stabilitas massa di puncak struktur ditentukan oleh kekangan rotasi terhadap puncak elemen kantilever.

Unit Isolator: suatu elemen struktural dari sistem isolasi yang fleksibel di arah horisontal dan kaku di arah vertikal, yang memungkinkan terjadinya deformasi lateral yang besar akibat beban gempa rencana. Suatu unit isolator boleh digunakan baik sebagai bagian, atau tambahan, sistem penahan beban struktur.

3.2. Notasi

A_o	= luas tapak fondasi (m^2)
A_0	= percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana
A_x	= faktor amplifikasi torsi (Pasal 7.8.4.3)
a_i	= percepatan di tingkat i yang diperoleh melalui analisis ragam, dijelaskan pada Pasal 7.8.4.3
a_p	= faktor amplifikasi elemen, dijelaskan lebih lanjut pada Pasal 9.3.1
B_D	= koefisien numerik seperti yang diatur dalam tabel 12.5-1 untuk redaman efektif yang sama dengan β_D
B_M	= koefisien numerik seperti yang diatur dalam tabel 12.5-1 untuk redaman efektif yang sama dengan β_M
b	= ukuran denah struktur terpendek, dalam mm diukur tegak lurus d
C_d	= faktor amplifikasi defleksi, seperti yang diberikan pada Tabel 7.2-1
C_R	= koefisien risiko spesifik situs pada suatu perioda; lihat Pasal 6.9
C_{RS}	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda pendek.
C_{RI}	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada perioda 1 detik.
C_s	= koefisien respons gempa, ditetapkan dalam Pasal 7.8.1.1 dan 13
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal, seperti yang telah ditentukan pada pasal 7.8.3
c	= jarak dari sumbu netral suatu elemen yang mengalami lentur, hingga serat yang mengalami regangan tekan maksimum (mm)
D	= pengaruh dari beban mati; ukuran terpanjang denah struktur dalam mm
D_D	= perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan 12.5-1
D'_D	= perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan 12.6-1
D_M	= perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan 12.5-3
D'_M	= perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh persamaan 12.6-2
D_{TD}	= total perpindahan rencana, dalam mm, dari suatu elemen sistem isolasi, termasuk perpindahan translasi di pusat kekakuan dan komponen perpindahan torsional di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-5
D_{TM}	= total perpindahan maksimum dalam mm, dari suatu elemen sistem isolasi, termasuk perpindahan translasi di pusat kekakuan dan komponen perpindahan torsional di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-6
D_s	= tebal total lapisan tanah
d_C	= tebal total lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat Pasal 5.4.3 (m)
d_i	= tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat Pasal 5.4.3 (m)
d_S	= tebal total lapisan tanah non kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat Pasal 5.4.3 (m)
E	= pengaruh gaya yang ditimbulkan gempa horisontal dan vertikal
E_{loop}	= energi yang dipancarkan dalam kN-mm, di suatu unit isolator selama satu siklus penuh dari beban reversibel selama suatu tes perpindahan dengan jangkauan dari Δ^+ ke Δ^- , seperti yang diukur berdasarkan luas daerah yang dilingkupi oleh loop kurva gaya-defleksi (<i>force-deflection curve</i>)
e	= eksentrisitas sesungguhnya, dalam mm, diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, dalam mm, diambil sebesar 5 persen dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus dengan arah gaya yang ditinjau
F^-	= gaya negatif maksimum suatu unit isolator selama satu siklus tunggal pada pengujian prototipe dengan satu amplitudo perpindahan Δ^-
F^+	= gaya positif dalam kN suatu unit isolator selama satu siklus tunggal pada pengujian prototipe dengan satu amplitudo perpindahan Δ^+
F_a	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik); lihat Pasal 6.2
F_{PGA}	= koefisien situs untuk <i>PGA</i> lihat Pasal 6.7.3
F_v	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik); lihat Pasal 10.4.3 .
F_b	= beban gempa horisontal nominal statik ekuivalen akibat gaya inersia sendiri yang menangkap pada pusat massa lantai besmen dari struktur bawah yang berperilaku elastik penuh
F_i, F_x	= bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat i atau x
F_p	= gaya gempa yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur

G	= $\gamma v_s^2/g$; modulus geser rata-rata tanah di bawah fondasi untuk regangan besar (Pa)
G_o	= $\gamma v_{so}^2/g$; modulus geser rata-rata tanah di bawah fondasi untuk regangan kecil (Pa)
g	= percepatan gravitasi (m/detik ²)
H	= tebal lapisan tanah (m)
$\frac{h}{h}$	= tinggi rata-rata dari struktur mengacu kepada lantai dasar
$\frac{h}{h}$	= tinggi efektif gedung (m)
h_i, h_x	= ketinggian terhitung dari lantai dasar hingga tingkat i atau x
I_e	= faktor keutamaan seperti yang ditentukan pada Pasal 4.1.2
I_p	= faktor keutamaan komponen
K_y	= kekakuan lateral fondasi seperti yang didefinisikan dalam Pasal 13 (N/m)
K_θ	= kekakuan rotasional fondasi seperti yang didefinisikan dalam Pasal 13 (N-m/radian)
K_p	= kekakuan dari komponen atau perlengkapan
KL/r	= rasio atau faktor kelangsingan dari elemen struktur yang mengalami tekan.
k	= eksponen distribusi
\bar{k}	= kekakuan gedung
k_{Dmax}	= kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada saat perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-3
k_{Dmin}	= kekakuan efektif minimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada saat perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-4
k_{Mmax}	= kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-5
k_{Mmin}	= kekakuan efektif minimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-6
k_{eff}	= kekakuan efektif satu unit isolator, seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-1
L	= pengaruh beban hidup di Bab 12
L_o	= panjang keseluruhan tepi fondasi dalam arah yang dianalisis (m)
MCE	= gempa tertimbang maksimum
MCE_G	= nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum
M_{gm}	= momen guling maksimum dari struktur atas suatu gedung yang bekerja pada struktur bawah pada taraf penjepitan lateral pada saat struktur atas berada dalam kondisi di ambang keruntuhan akibat dikerahkannya faktor kuat lebih total f yang terkandung di dalam struktur atas, atau akibat pengaruh momen leleh akhir sendi-sendi plastis pada kaki semua kolom dan semua dinding geser.
M_o, M_{o1}	= momen guling pada bidang antara tanah-fondasi seperti yang ditetapkan dalam Pasal 13 (N-m)
M_t	= momen torsi yang diakibatkan eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan
M_{ta}	= momen torsi tak terduga
N	= tahanan penetrasi standar
\bar{N}	= tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas, lihat Pasal 5.4.3
\bar{N}_{ch}	= tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non kohesif dalam lapisan 30 m paling atas, lihat Pasal 5.4.3
PGA	= percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta
$PGAM$	= percepatan muka tanah puncak MCE_G yang sudah disesuaikan akibat pengaruh Kelas Situs, lihat Pasal 6.7.3
PI	= indeks plastisitas tanah
P_x	= total beban rencana vertikal tidak terfaktor pada dan di atas tingkat x , seperti yang digunakan pada Pasal 7.8.7
Q_E	= pengaruh gaya gempa horisontal
R	= koefisien modifikasi respons, lihat Tabel 8.1
R_p	= faktor modifikasi respons elemen
R	= suatu panjang karakteristik untuk fondasi seperti yang didefinisikan dalam Pasal 13 (m)
r_a	= panjang karakteristik untuk fondasi seperti yang didefinisikan dalam Persamaan 13 (m)
r_m	= panjang karakteristik untuk fondasi seperti yang didefinisikan dalam Persamaan 13 (m)
S_s	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen; didefinisikan dalam Pasal 6.1.1
S_l	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen; didefinisikan dalam Pasal 6.1.1
S_{aM}	= parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada perioda tertentu
S_{DS}	= parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen; didefinisikan dalam Pasal 6.6.4 (Lihat Pasal 8.8.1)
S_{D1}	= parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen; didefinisikan dalam Pasal 6.4.4
S_{MS}	= parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh Kelas Situs

S_{MI}	=	percepatan percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh Kelas Situs
s_u	=	kuat geser niralir; lihat Pasal 5.4.3
\bar{s}_u	=	kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat Pasal 5
s_{ui}	=	kuat geser niralir suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas; lihat Pasal 5.4.3
T	=	perioda fundamental bangunan
T_L	=	transisi perioda panjang
T_p	=	perioda alami dari elemen
\tilde{T}, \tilde{T}_1	=	perioda fundamental efektif bangunan, ditetapkan dalam Pasal 13
T_0	=	$0,2 S_{DI}/S_{DS}$
T_S	=	S_{DI}/S_{DS}
T_D	=	perioda efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada saat perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-2
T_M	=	perioda efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada saat perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-4
Tingkat i	=	Tingkat bangunan yang dirujuk dengan subskrip i ; $i = 1$ menunjukkan tingkat pertama di atas dasar
Tingkat n	=	Tingkat yang paling atas pada bagian utama bangunan
Tingkat x	=	Lihat "Tingkat i "
V	=	geser disain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau, seperti ditentukan menggunakan prosedur dari Pasal 8.8.1
V_t	=	nilai disain dari gaya geser dasar akibat gempa, dijelaskan pada Pasal 7.9.4
V_x	=	geser gempa disain di tingkat x seperti ditentukan di Pasal 7.8.4 dan 7.9.4, dan 8.8.3
V_b	=	total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen sistem isolasi atau elemen-elemen di bawah sistem isolasi seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-7
V_s	=	total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.5-8
\tilde{V}	=	gaya geser dasar yang sudah direduksi akibat interaksi tanah struktur, ditentukan dalam Pasal 13
\tilde{V}_1	=	bagian dari \tilde{V} yang merupakan kontribusi dari ragam fundamental, sesuai dengan Pasal 13
ΔV	=	reduksi V yang ditetapkan sesuai Pasal 13
ΔV_1	=	reduksi \tilde{V}_1 sesuai dengan Pasal 13
v_s	=	kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil ($< 10^{-3}$ persen), lihat Pasal 13 (m/detik)
\bar{v}_s	=	kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas, lihat Pasal 5.4.3
v_{si}	=	kecepatan rambat gelombang geser dalam lapisan tanah atau batuan ke- i , di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat Pasal 5
v_{so}	=	kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil untuk tanah di bawah fondasi, di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat Pasal 13
W	=	berat seismik efektif bangunan sesuai dengan yang didefinisikan dalam Pasal 7.7.2 . Dalam perhitungan untuk bangunan dengan isolasi dasar, W didefinisikan sesuai Pasal 13
\bar{W}	=	berat seismik efektif bangunan sesuai dengan yang didefinisikan dalam Pasal 13
w	=	kadar air tanah (persen)
W_b	=	berat lantai besmen termasuk beban hidup yang sesuai
W_c	=	beban gravitasi dari komponen gedung; berat dinding
W_p	=	berat elemen struktur
w_b, w_n	=	bagian dari beban gempa efektif yang dikenakan pada tingkat i atau n
w_x	=	Lihat Pasal 8.8.2
x	=	tingkat yang sedang ditinjau, 1 menandakan tingkat pertama setelah lantai dasar
y	=	jarak, dalam mm, antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban gempa yang ditinjau
γ	=	berat volume tanah rata-rata (atau N/m^3)
Δ	=	simpangan antar lantai rencana
Δa	=	simpangan antar lantai yang diizinkan
$\Delta_{fallout}$	=	perpindahan relatif akibat gempa
Δ^+	=	perpindahan positif maksimum suatu unit isolator setiap siklus selama pengujian prototipe
Δ^-	=	perpindahan negatif maksimum suatu unit isolator setiap siklus selama pengujian prototipe
δ_{maks}	=	perpindahan maksimum pada tingkat x dengan mempertimbangkan torsi

δ_M	= respons perpindahan inelastis maksimum dengan mempertimbangkan torsi
δ_{MT}	= total jarak terpisah antar struktur yang berdampingan
δ_{avg}	= rata-rata perpindahan pada titik-titik ekstrim struktur di tingkat x
δ_x	= lendutan di tingkat x di pusat massa dan di atas tingkat x
δ_{xe}	= lendutan di tingkat x di pusat massa dan di atas tingkat x ditentukan melalui analisis elastik
δ_{xm}	= lendutan ragam di tingkat x di pusat massa dan di atas tingkat x ditentukan melalui analisis elastik
$\frac{\delta_x}{\delta_{x0}}$	= lendutan di tingkat x di pusat massa dan di atas tingkat x
θ	= koefisien stabilitas untuk pengaruh P- Δ seperti yang ditentukan pada Pasal 7.8.7
ρ	= faktor redundansi struktur
ρ_s	= rasio tulangan spiral untuk precast atau tiang prategang
λ	= faktor pengaruh waktu
Ω_0	= faktor kuat lebih, seperti yang didefinisikan pada Tabel 7.2-1
$\bar{\beta}$	= fraksi dari redaman kritis sesuai Bab 12
β_0	= faktor redaman fondasi seperti yang ditetapkan dalam Bab 13
β_D	= redaman efektif sistem isolasi pada saat perpindahan rencana seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-7
β_M	= redaman efektif sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-8
β_{eff}	= redaman efektif sistem isolasi seperti yang ditentukan dalam persamaan 12.8-2
ΣE_D	= total energi disipasi, dalam kN-mm, sistem isolasi selama satu siklus penuh dari respons pada saat perpindahan
ΣE_M	= total energi disipasi, dalam kN-mm, sistem isolasi selama satu siklus penuh dari respons pada saat perpindahan maksimum, D_M
$\Sigma F_D^+ _{max}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan positif sama dengan D_D
$\Sigma F_D^+ _{min}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan positif sama dengan D_D
$\Sigma F_D^- _{max}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan negatif sama dengan D_D
$\Sigma F_D^- _{min}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan negatif sama dengan D_D
$\Sigma F_M^+ _{max}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan positif sama dengan D_M
$\Sigma F_M^+ _{min}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan positif sama dengan D_M
$\Sigma F_M^- _{max}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan negatif sama dengan D_M
$\Sigma F_M^- _{min}$	= penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan negatif sama dengan D_M

4. KETENTUAN UMUM

4.1. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

4.1.1 Gempa Rencana

Standar 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.

4.1.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai **Tabel 4.1-1** pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut **Tabel 4.1-2**. 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 didisain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 4.1-1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori
-------------------	----------

	Risiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katerogi risiko I,III,IV	II
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan Gedung dan struktur lainnya 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 nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk <ul style="list-style-type: none"> - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk, tidak dibatasi untuk, 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) disyaratkan dalam kategori risiko IV untuk beroperasi pada saat keadaan darurat - Menara - Fasilitas penampungan air dan struktur pompa yang dibutuhkan untuk meningkatkan tekanan air pada saat memadamkan kebakaran - Gedung dan struktur lainnya yang memiliki fungsi yang penting terhadap sistem pertahanan nasional <p>Gedung dan struktur lain, yang kegagalannya dapat menimbulkan bahaya bagi masyarakat</p> <p>Gedung dan struktur lainnya (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat penyimpanan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya) yang mengandung bahan yang sangat beracun di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat bila terjadi kebocoran.</p> <p>Gedung dan struktur lainnya yang mengandung bahan yang beracun, sangat beracun atau mudah meledak dapat dimasukkan dalam kategori risiko yang lebih rendah jika dapat dibuktikan dengan memuaskan dan berkuatan hukum melalui kajian bahaya bahwa kebocoran bahan beracun dan mudah meledak tersebut tidak akan mengancam kehidupan masyarakat. Penurunan kategori risiko ini tidak diijinkan jika gedung atau struktur lainnya tersebut juga merupakan fasilitas yang penting</p> <p>Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 4.1-2 Faktor Keutamaan Gempa

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

4.2. Kombinasi Beban Terfaktor dan Beban Layan

4.2.1 Lingkup Penerapan

Struktur bangunan gedung dan struktur lainnya harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan **Pasal 4.2.2 atau 4.2.3**.

4.2.2 Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$

4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

PENGECUALIAN: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3, 4, dan 5 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m^2 .

Bila beban air F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 1 hingga 5 dan 7.

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:

1. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1,6.
2. Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan gempa harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat **Pasal 7.4** untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

4.2.3 Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin

Beban-beban di bawah ini harus ditinjau dengan kombinasi-kombinasi berikut untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi berdasarkan metoda tegangan ijin:

1. D
2. $D + L$
3. $D + (L_r \text{ atau } R)$
4. $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
5. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
6. $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
7. $0,6D + 0,6W$
8. $0,6D + 0,7E$

Bila beban air F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 1 hingga 6 dan 8.

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:

1. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1.
2. Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0,6 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan gempa harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat **Pasal 7.4** untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

5. PROSEDUR KLASIFIKASI SITUS UNTUK DISAIN SEISMIK

5.1. Klasifikasi Situs

Pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria disain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria disain 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 sesuai dengan **Tabel 5.3-1** dan **Pasal 5.3**, 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 disain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam **Tabel 5.3-1**. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk perlu 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.

5.2. Analisis Respons Situs untuk Tanah Kelas Situs SF

Analisis respons situs menurut **Pasal 6.9.1** harus dilakukan untuk tanah Kelas Situs SF, jika tidak, pengecualian terhadap **Pasal 5.3.1** terpenuhi.

5.3. Definisi Kelas Situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari **Tabel 5.3-1** dan pasal-pasal berikut.

Tabel 5.3-1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

5.3.1 Tanah Khusus, Kelas Situs SF

Jika salah satu dari kondisi berikut ini terpenuhi, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SF, serta selanjutnya investigasi geoteknik spesifik serta analisis respons spesifik-situs sesuai **Pasal 6.9.1** harus dilakukan.

1. Tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah.

PENGECEUALIAN: Untuk struktur bangunan dengan perioda getar fundamental $\leq 0,5$ detik, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan dalam menentukan percepatan spektral untuk tanah yang berpotensi likuifaksi. Sebagai gantinya, klasifikasi situs dapat ditentukan sesuai dengan **Pasal 5.3** dan menggunakan nilai F_a dan F_v yang ditentukan dari **Tabel 6.2-1 dan 6.2-2**

2. Lempung kadar organik tinggi dan/atau gambut, dengan ketebalan, $H > 3$ m.
3. Lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan, $H > 7,5$ m, dengan indeks plastisitas, $PI > 75$).
4. Lempung lunak/medium teguh, dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa.

5.3.2 Tanah Lunak, Kelas Situs SE

Bila suatu situs tidak termasuk Kelas Situs SF dan di dalamnya terdapat ketebalan total lapisan lempung lunak lebih dari 3 m, dan lempung lunak tersebut memiliki kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa, kadar air $w \geq 40$ persen dan indeks plastisitas, $PI > 20$, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SE.

5.3.3 Kelas Situs SC, SD dan SE

Penetapan Kelas Situs SC, SD dan SE harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua dari tiga parameter \bar{v}_s , \bar{N} , dan \bar{s}_u , yang dihitung sesuai **Pasal 5.4** :

1. \bar{v}_s lapisan 30 m paling atas (metode \bar{v}).
2. \bar{N} lapisan 30 m paling atas (metode \bar{N}).
3. \bar{N}_{ch} untuk lapisan tanah non-koheusif ($PI < 20$) 30 m paling atas, \bar{s}_u untuk lapisan tanah koheusif ($PI > 20$) 30 m paling atas (metode \bar{s}_u). Bila \bar{N}_{ch} dan \bar{s}_u menghasilkan kriteria yang berbeda, kelas situs harus diberlakukan sesuai dengan kategori tanah yang lebih lunak.

5.3.4 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SB

Kecepatan gelombang geser untuk batuan, Kelas Situs SB, yang dalam ketentuan ini dinyatakan juga sebagai rujukan batuan dasar, harus ditentukan dari pengukuran lapangan atau diestimasi oleh seorang ahli geoteknik atau ahli seismologi yang berkompeten dalam bidangnya, untuk batuan dengan kondisi rekahan (*fracturing*) dan pelapukan sedang. Pengukuran kecepatan gelombang geser di lapangan harus dilakukan untuk batuan yang lebih lunak dengan tingkat rekahan (*fracturing*) atau pelapukan yang lebih lanjut, jika tidak dilakukan pengukuran, maka situs tersebut diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SC.

5.3.5 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SA

Penetapan situs batuan keras, Kelas Situs SA, harus didukung dengan pengukuran kecepatan gelombang geser yang dilakukan di lapangan atau pada profil batuan yang bertipe sama pada formasi yang sama dengan derajat pelapukan dan retakan yang setara atau lebih. Bila kondisi batuan keras diketahui menerus sampai kedalaman 30 m, maka pengukuran kecepatan gelombang geser permukaan boleh diekstrapolasi untuk mendapatkan \bar{v}_s .

5.4. Definisi Untuk Parameter Kelas Situs

Beberapa definisi dalam pasal ini berlaku untuk profil tanah kedalaman 30 m paling atas dari suatu situs. Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke- n dari atas ke bawah, sehingga ada total n -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut. Bila sebagian dari lapisan n adalah koheusif dan yang lainnya non-koheusif, maka k adalah jumlah lapisan koheusif dan m adalah jumlah lapisan non-koheusif. Simbol i mengacu kepada lapisan antara 1 dan n .

5.4.1 Kecepatan Rata-Rata Gelombang Geser, \bar{v}_s

Nilai \bar{v}_s harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{v_{sj}}} \quad (5.4-1)$$

di mana :

$$\begin{aligned} d_j &= \text{tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter.} \\ v_{sj} &= \text{kecepatan gelombang geser lapisan } I \text{ dalam satuan m/detik.} \\ \sum_{j=1}^n d_j &= 30 \text{ meter.} \end{aligned}$$

5.4.2 Tahanan Penetrasi Standar Lapangan Rata-Rata, \bar{N} , dan Tahanan Penetrasi Standar Rata-Rata untuk Lapisan Tanah Non-Koheusif, \bar{N}_{ch}

Nilai \bar{N} dan \bar{N}_{ch} harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{N_j}} \quad (5.4-2)$$

di mana N_j dan d_j dalam **Persamaan 5.4-2** berlaku untuk tanah non-koheusif, tanah koheusif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{j=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (5.4-3)$$

di mana N_i dan d_i dalam **Persamaan 5.4-3** berlaku untuk lapisan tanah non-kohefif saja, dan $\sum_{i=1}^m d_i = d_s$, di mana d_s adalah ketebalan total dari lapisan tanah non-kohefif di dalam 30m lapisan paling atas. N_i adalah tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 100. Jika ditemukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai N_i tidak boleh diambil lebih dari 305 pukulan/m (100 blows/ft).

5.4.3 Kuat Geser Niralir Rata-Rata, \bar{s}_u

Nilai \bar{s}_u harus ditentukan sesuai dengan perumusan berikut:

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{j=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (5.4-4)$$

di mana

$$\sum_{j=1}^k d_i = d_c$$

d_c = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohefif di dalam lapisan 30 meter paling atas.

I = indeks plastisitas, berdasarkan standar yang berlaku

W = kadar air dalam persen, sesuai standar yang berlaku

s_{ui} = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa seperti yang ditentukan dan sesuai dengan standar yang berlaku

6. WILAYAH GEMPA DAN SPEKTRUM RESPONS

6.1. Parameter Percepatan Gempa

6.1.1 Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_l (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam Peta Gerak Tanah Seismik pada **Bab 14** dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_l \leq 0.04g$ dan $S_s \leq 0.15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam Kategori Disain Seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam **Pasal 6.6**.

6.1.2 Kelas Situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai Kelas Situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF yang mengikuti **Pasal 5.3**. 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.

6.2. Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

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

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (6.2-1)$$

$$S_{M1} = F_v S_l \quad (6.2-2)$$

di mana :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek.

S_l = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti **Tabel 6.2-1** dan **Tabel 6.2-2**. Jika digunakan prosedur disain sesuai dengan Bab 8, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai Pasal 8.8.1 serta nilai F_v , S_{MS} , dan S_{Ml} tidak perlu ditentukan.

Tabel 6.2-1 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Perioda Pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
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 :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat **Pasal 6.9.1**

Tabel 6.2-2 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Perioda 1 detik, S_l				
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_l dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat **Pasal 6.9.1**

6.3. Parameter Percepatan Spektral Disain

Parameter percepatan spektral disain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{Dl} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (6.2-3)$$

$$S_{Dl} = 2/3 S_{Ml} \quad (6.2-4)$$

Jika digunakan prosedur disain yang disederhanakan sesuai **Bab 8**, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai **Pasal 8.8.1** dan nilai S_{Dl} tidak perlu ditentukan.

6.4. Spektrum Respons Disain

Bila spektrum respons disain diperlukan oleh standar ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons disain harus dikembangkan dengan mengacu **Gambar 6.4-1** dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

- Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan disain, S_a , harus diambil dari persamaan:

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

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan disain, S_a , sama dengan S_{DS} .
- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan disain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{Dl}}{T}$$

di mana,

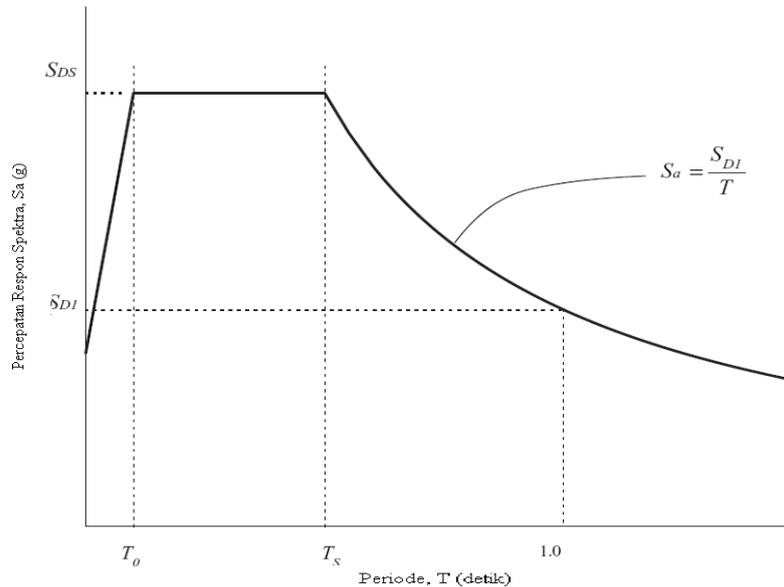
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan disain pada perioda pendek

S_{Dl} = parameter respons spektral percepatan disain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 6.4-1 Spektrum Respons Disain

6.5. Kategori Disain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu Kategori Disain Seismik yang mengikuti Pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan Kategori Disain Seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan Kategori Disain Seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori disain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan disainnya, S_{DS} dan S_{D1} , sesuai **Pasal 6.3**. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori disain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada **Tabel 6.5-1** atau **6.5-2**, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih kecil dari 0,75, kategori disain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai **Tabel 6.5-1** saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah.

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.2.1 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan **Pasal 6.4**.
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
3. **Persamaan 7.8-2** digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s .
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di **Pasal 7.3.1** atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya-gempa tidak melebihi 12 m.

Apabila alternatif prosedur penyederhanaan disain pada **Bab 8** digunakan, kategori disain seismik diperkenankan untuk ditentukan dari **Tabel 6.5-1**, dengan menggunakan nilai S_{DS} yang ditentukan dalam **Pasal 8.8.1**.

Tabel 6.5-1 Kategori Disain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A

$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 6.5-2 Kategori Disain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

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

6.6. Persyaratan Perancangan untuk Kategori Disain Seismik A

Bangunan gedung dan struktur lainnya dengan Kategori Disain Seismik A hanya perlu memenuhi ketentuan-ketentuan di bawah ini. Elemen non-struktural dalam Kategori Disain Seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan disain seismik.

6.6.1 Persyaratan Beban Gempa

Beban gempa yang disyaratkan pada **Pasal 6.6.2** hingga **Pasal 6.6.5** di bawah ini harus dikombinasikan dengan beban mati dan beban hidup sesuai **Pasal 4.2.2** untuk kombinasi beban ultimit dan **Pasal 4.2.3** untuk kombinasi beban layan.

6.6.2 Sambungan untuk Lintasan Beban Gempa

Semua bagian elemen struktur di antara join harus saling disambungkan sehingga membentuk sistem penahan gaya lateral dengan lintasan beban yang menerus. Sambungan harus mampu menyalurkan gaya-gaya lateral yang terjadi pada bagian-bagian yang disambung. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus disatukan ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen-elemen struktur yang memiliki kekuatan untuk menahan gaya minimum sebesar 5 persen dari berat bagian struktur yang lebih kecil tersebut.

6.6.3 Gaya Lateral

Setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen di kedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Untuk tujuan analisis, gaya lateral di tiap lantai dihitung sebagai berikut:

$$F_x = 0,01 W_x$$

di mana:

F_x = Gaya lateral rencana yang diaplikasikan pada lantai x

W_x = Bagian beban mati total struktur, D , yang bekerja pada lantai x

6.6.4 Sambungan pada Tumpuan

Sambungan positif untuk menahan gaya horisontal yang bekerja paralel terhadap elemen struktur harus disediakan untuk masing-masing balok, girder, atau elemen rangka, baik secara langsung ke elemen-elemen penumpunya atau ke pelat lantai yang didisain sebagai diafragma. Bila sambungan dipasang melalui diafragma, maka elemen struktur penumpu juga harus disambungkan ke diafragma. Sambungan harus memiliki kekuatan untuk menahan gaya minimum sebesar 5 persen dari reaksi beban mati dan beban hidup tak terfaktor yang ditimbulkan oleh elemen struktur yang ditumpu pada elemen struktur yang menumpu.

6.6.5 Pengangkuran Dinding Struktural

Dinding struktural yang berfungsi sebagai penumpu beban vertikal atau penahan geser lateral untuk bagian struktur harus diangkurkan ke pelat atap dan seluruh pelat lantai serta elemen-elemen struktur yang memberikan tahanan lateral untuk dinding atau yang ditumpu oleh dinding. Angkur harus memberikan sambungan langsung antara dinding-dinding dan konstruksi pelat atap atau konstruksi pelat lantai. Angkur harus mampu menahan gaya horizontal terfaktor yang tegak lurus bidang dinding sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari $0,24 \text{ kN/m}^2$.

6.7. Bahaya (Hazard) Geologi dan Investigasi Geoteknik

6.7.1 Batasan Situs untuk Kategori Disain Seismik E dan F

Struktur yang tergolong dalam Kategori Disain Seismik E atau F tidak boleh berada pada lokasi di mana terdapat patahan/sesar aktif yang telah teridentifikasi dengan jelas, yang berpotensi menyebabkan keretakan tanah pada lokasi struktur bangunan.

6.7.2 Ketentuan Laporan Investigasi Geoteknik untuk Kategori Disain Seismik C hingga F

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

- Ketidakstabilan Lereng
- Liquifaksi
- Penurunan total dan beda penurunan
- Perpindahan permukaan akibat patahan atau serakan lateral (*lateral spread*) atau aliran lateral (*lateral flow*) akibat getaran seismik

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

PENGECUALIAN: Apabila disetujui oleh otoritas yang berwenang/memiliki yurisdiksi, laporan geoteknik spesifik situs tidak diperlukan jika ada suatu evaluasi yang telah dilakukan sebelumnya pada situs di sekitarnya dengan kondisi tanah yang memiliki kemiripan memberikan pedoman atau arahan terhadap konstruksi yang diusulkan.

6.7.3 Persyaratan Tambahan Laporan Investigasi Geoteknik untuk Kategori Disain Seismik D Hingga F

Tabel 6.7-1 Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat Pasal 4.7				

Catatan : gunakan interpolasi linier untuk mendapatkan nilai PGA antara.

Laporan penyelidikan geoteknik untuk struktur dengan Kategori Disain Seismik D, E, atau F harus mencakup semua hal yang berlaku di bawah ini:

- Penentuan tekanan lateral tanah seismik dinamik pada dinding basement dan dinding penahan akibat gerak tanah gempa rencana.
- Potensi liquifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan dasar puncak pada situs, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_G). Percepatan dasar puncak harus ditentukan dengan (1) studi spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, yang dijelaskan pada **Pasal 6.9** atau (2) percepatan dasar puncak PGA_M , dari **Persamaan 6.7-1**

$$PGA_M = F_{PGA} PGA \quad (6.7-1)$$

di mana :

PGA_M = Percepatan dasar puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA = Percepatan dasar puncak terpetakan yang ditunjukkan pada **Bab 14**

F_{PGA} = Koefisien situs dari **Tabel 6.7-1**

- Kajian konsekuensi potensi liquifaksi dan kehilangan kekuatan tanah, termasuk, namun tidak terbatas pada, estimasi penurunan total dan beda penurunan, pergerakan lateral tanah, beban lateral tanah pada fondasi, reduksi daya dukung tanah fondasi dan reaksi lateral tanah, friksi negatif (*downdrag*), reduksi reaksi aksial dan lateral tanah pada fondasi tiang, peningkatan tekanan lateral pada dinding penahan, dan pengapungan (*flotation*) struktur-struktur tertanam.

4. Diskusi mengenai langkah-langkah mitigasi seperti, namun tidak terbatas pada, pemilihan tipe dan kedalaman fondasi yang sesuai, pemilihan sistem struktur yang sesuai untuk mengantisipasi perpindahan dan gaya-gaya, stabilitasi tanah, dan kombinasi perhitungan-perhitungan ini dan bagaimana perhitungan tersebut harus dipertimbangkan dalam disain struktur.

6.8. Spektrum Respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Jika spektrum respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) dibutuhkan, maka spektrum respons disain harus dikalikan dengan angka 1,5.

6.9. Prosedur Gerak Tanah pada Spesifik-Situs

Prosedur gerak tanah pada spesifik-situs yang ada di **Pasal 6.9** ini boleh digunakan untuk penentuan gerak tanah untuk setiap struktur. Analisis respons situs harus dilakukan dengan mengikuti **Pasal 6.9** ini untuk struktur pada Kelas Situs SF, jika tidak ada pengecualian terhadap **Pasal 5.3.1** yang dapat diberlakukan. Untuk struktur yang menggunakan isolasi seismik dan untuk struktur dengan sistem redaman pada situs dengan S_I lebih besar dari atau sama dengan 0,6, maka analisis bahaya (*hazard*) gerak-tanah harus dilakukan dengan mengikuti **Pasal 6.9.2**.

6.9.1 Analisis Respons Situs

Ketentuan-ketentuan pada Pasal ini harus dipenuhi di mana analisis respons situs dilakukan atau disyaratkan pada Pasal 6.9. Analisis harus didokumentasi dalam suatu laporan yang memadai.

6.9.1.1 Gerak Batuan Dasar

Untuk suatu analisis spektrum respons spesifik situs, diperlukan spektrum respons gempa MCE_R pada batuan dasar. Spektrum respons gempa MCE_R pada batuan dasar ini harus dikembangkan dengan menggunakan prosedur yang ada pada **Pasal 6.8 atau 6.9.2**. Kecuali telah dilakukan analisis bahaya gerak tanah pada spesifik-situs yang dijelaskan pada **Pasal 6.9.2**, maka spektrum respons gempa MCE_R harus dikembangkan berdasarkan prosedur yang ada pada **Pasal 6.8**, dengan asumsi Kelas Situs SB. Jika batuan dasar-nya merupakan Kelas Situs SA, maka spektrum respons harus disesuaikan menggunakan koefisien situs yang diberikan pada **Pasal 6.2**, kecuali koefisien-koefisien situs lainnya dapat dijustifikasi. Setidaknya diperlukan 5 (lima) rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horisontal yang harus dipilih dari beberapa kejadian gempa dengan magnitudo dan jarak sumber gempa (patahan/subduksi) yang secara konsisten mengontrol gerak tanah gempa MCE_R . Masing-masing riwayat waktu yang dipilih tersebut harus diskalakan, sehingga spektrum respons-nya secara rata-rata kira-kira dekat dengan level spektrum respons gempa MCE_R batuan pada rentang perioda yang signifikan dari respons struktur bangunan yang akan didisain.

6.9.1.2 Pemodelan Kondisi Situs

Untuk keperluan analisis respons spesifik-situs, maka suatu model respons situs yang didasarkan pada kecepatan rambat gelombang geser regangan kecil (v_s), hubungan tegangan-regangan geser non-linier atau ekuivalen linier, dan berat jenis harus disiapkan. Kecepatan gelombang geser ini harus ditentukan dengan pengukuran langsung di lapangan pada situs yang bersangkutan atau pengukuran pada situs yang berdekatan yang memiliki kemiripan kondisi tanah. Pengukuran v_s di lapangan dapat dilakukan dengan uji *seismic-downhole* (SDH), uji *spectral analysis of surface wave* (SASW), atau uji seismik sejenis. Hubungan tegangan-regangan geser non-linier atau ekuivalen linier dan berat satuan harus dipilih berdasarkan uji laboratorium langsung atau menggunakan korelasi yang sudah terpublikasi dari tanah yang memiliki kesamaan sifat. Ketidakpastian pada sifat tanah harus diestimasi. Dalam hal profil-profil tanah yang ada sangat dalam sehingga menyebabkan pengembangan model tanah ke batuan dasar menjadi sulit dilakukan dan tidak praktis, maka model tanah tersebut diijinkan untuk diberhentikan pada kondisi kekakuan tanah setidaknya sebesar nilai yang mendefinisikan Kelas Situs SD, sesuai **Bab 5**. Dalam hal seperti ini, maka spektrum-respons percepatan riwayat-waktu gempa MCE_R yang dikembangkan pada Pasal 6.9.1.1 harus disesuaikan ke atas permukaan tanah menggunakan koefisien-koefisien situs pada Pasal 6.2 yang konsisten dengan klasifikasi tanah pada profil dasar.

6.9.1.3 Analisis Respons Situs dan Hasil Perhitungan

Riwayat waktu gerak tanah batuan dasar harus menjadi masukan ke dalam profil tanah sebagai gerak dari referensi batuan dasar. Dengan menggunakan teknik perhitungan yang memperlakukan sifat tanah secara non-linier ke dalam suatu metoda non-linier atau linier ekuivalen, maka respons profil tanah harus ditentukan dan respons riwayat waktu gerak tanah di permukaan harus dihitung. Rasio spektrum respons (dengan redaman 5 persen) di permukaan tanah dan di batuan dasar harus dihitung. Nilai spektrum respons gerak tanah MCE_R yang direkomendasikan tidak boleh lebih rendah dari spektrum respons MCE_R batuan dasar dikali dengan rata-rata rasio spektrum respons permukaan-ke-dasar (dihitung perioda demi perioda) yang didapat dari analisis respons spesifik-situs. Gerak dasar permukaan yang direkomendasikan dari hasil analisis harus menggambarkan pertimbangan atas sensitifitas respons terhadap ketidakpastian sifat-sifat tanah, kedalaman model tanah, dan gerak tanah masukan (*input motion*).

6.9.2 Analisis Bahaya (*Hazard*) Gerak Tanah untuk Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Persyaratan yang ada pada **Pasal 6.9.2** ini harus dipenuhi jika analisis bahaya (*hazard*) gerak tanah dilakukan sesuai **Pasal 6.9**. Analisis bahaya (*hazard*) gerak tanah ini harus memperhitungkan kondisi regional tektonik, geologi, dan seismisitas, perkiraan laju keberulangan (*recurrence rates*) dan magnitudo maksimum sumber-sumber gempa yang teridentifikasi dengan jelas, karakteristik atau model atenuasi gerak tanah, pengaruh sumber gempa terdekat, jika ada, pada gerak dasar, dan pengaruh kondisi situs bawah-permukaan terhadap gerak tanah. Karakteristik kondisi situs bawah-permukaan harus diperhitungkan apakah menggunakan persamaan atenuasi yang dapat mewakili geologi regional atau geoteknik lokalnya, atau dengan mengikuti **Pasal 4.5.6.1**. Analisis ini harus memasukkan interpretasi kegempaan yang terbaru, termasuk ketidakpastian model-model dan nilai parameter-parameter sumber-sumber gempa dan gerak dasar. Analisisnya harus di bawah pengawasan ahli yang kompeten serta hasil analisisnya didokumentasi dalam suatu laporan yang memadai.

6.9.2.1 Gerak Tanah Gempa MCE_R Probabilistik

Percepatan respons spektral probabilistik harus diambil sebagai percepatan respons spektral pada arah horizontal maksimum yang diwakili oleh spektrum respons percepatan (redaman 5 persen) dengan level kejadian gempa 2 persen kemungkinan terlewat dalam kurun waktu 50 tahun. Untuk keperluan standar ini, ordinat spektrum respons gerak tanah secara probabilistik ini ditentukan berdasarkan ketentuan di bawah ini.

Pada setiap perioda di mana spektrum respons percepatannya ingin dihitung, maka ordinat spektrum respons gerak tanah secara probabilistik ditentukan sebagai hasil perkalian dari koefisien risiko, C_R , dan spektrum respons percepatan (teredam 5 persen) dengan tingkat 2 persen kemungkinan terlampaui dalam kurun waktu 50 tahun. Nilai koefisien risiko C_R , harus ditentukan menggunakan nilai-nilai C_{RS} dan C_{RI} yang secara berturut-turut mengacu pada Gambar 14.4 dan 14.5 pada Bab 14. Pada perioda-perioda spektrum respons yang lebih kecil atau sama dengan 0,2 detik, maka C_R harus diambil sama dengan nilai C_{RS} , sedangkan untuk perioda yang lebih besar dari 1 detik, C_R diambil sama dengan nilai C_{RI} . Pada perioda spektrum respons lebih besar dari 0,2 detik dan lebih kecil dari 1 detik, nilai C_R harus didasarkan pada interpolasi linier nilai C_{RS} dan C_{RI} .

6.9.2.2 Gerak Tanah Gempa MCE_R Deterministik

Percepatan respons spektral deterministik harus dihitung sebagai percepatan respons spektral pada arah horizontal maksimum dengan ketentuan 84^{th} percentile dan redaman 5 persen yang dihitung pada perioda tersebut. Percepatan dengan nilai yang terbesar harus diambil dari perhitungan semua sumber-sumber gempa karakteristik yang berpengaruh pada situs yang ditinjau, yaitu dari sumber patahan yang teridentifikasi dengan jelas. Untuk tujuan dari standar ini, ordinat dari spektrum-respons gerak tanah secara deterministik ini tidak boleh diambil nilai lebih kecil dari ordinat spektra-respons yang ditentukan **Gambar 6.9.2-1**, di mana F_a dan F_v ditentukan pada **Tabel 6.7-1 dan 6.7-2**, dengan nilai S_s diambil sebesar 1,5 dan nilai S_l diambil sebesar 0,6.

6.9.2.3 Gempa MCE_R Spesifik-Situs

Percepatan respons spektral spesifik-situs gempa MCE_R pada setiap perioda, S_{aM} , harus diambil sebagai nilai terkecil dari percepatan respons spektral yang didapatkan secara probabilistik, seperti yang dibahas pada **Pasal 6.9.2.1** dan secara deterministik, seperti yang dibahas pada **Pasal 6.9.2.2**.

6.9.3 Spektrum-Respons Disain

Percepatan spektral-respons disain pada berbagai perioda harus ditentukan dengan perumusan di bawah ini :

$$S_a = \frac{2}{3} S_{aM} \quad (6.9.3-1)$$

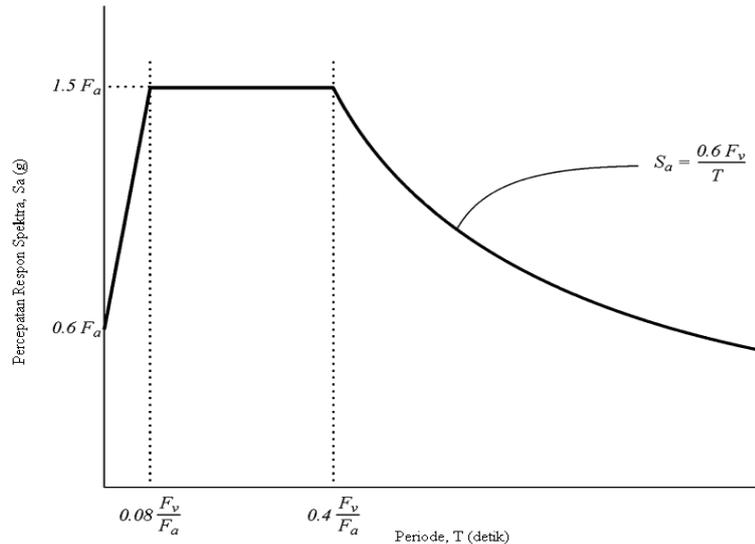
di mana S_{aM} adalah percepatan spektral-respons gempa MCE_R yang didapatkan dari **Pasal 6.9.1 atau 6.9.2**. Percepatan spektral-respons disain untuk berbagai perioda tidak boleh diambil lebih kecil dari 80 persen nilai S_a yang ditentukan pada **Pasal 6.4**. Untuk situs yang dikategorikan sebagai Kelas Situs SF, yang disyaratkan memerlukan analisis respons spesifik-situs sesuai Pasal 6.9 percepatan spektral-respons disain untuk setiap perioda tidak boleh diambil lebih kecil dari 80 persen S_a yang ditentukan pada klasifikasi situs SE yang mengacu pada **Pasal 6.4**

6.9.4 Parameter-Parameter Percepatan Disain

Jika prosedur spesifik-situs digunakan untuk menentukan gerak tanah disain sesuai **Pasal 6.9.3**, maka parameter S_{DS} harus diambil sebagai percepatan spektral, S_a , yang diperoleh dari spektra spesifik-situs pada perioda 0,2 detik, kecuali bahwa tidak boleh diambil lebih kecil dari 90 persen percepatan spektral puncak (S_a) pada setiap perioda yang lebih besar dari 0,2 detik. Parameter S_{DI} harus diambil dari nilai terbesar antara percepatan spektral, S_a , pada perioda 1 detik

atau dua kali nilai percepatan spektral pada perioda 2 detik. Parameter S_{MS} dan S_{M1} diambil 1,5 kali dari masing-masing S_{DS} dan S_{D1} . Nilai yang telah didapat, tidak boleh kurang dari 80 persen nilai yang ditentukan menurut **Pasal 6.2** untuk S_{MS} dan S_{M1} , dan **Pasal 6.3** untuk S_{DS} dan S_{D1} .

Untuk penerapan dalam prosedur gaya lateral ekuivalen, maka percepatan spektra spesifik-situs, S_a , pada perioda T tertentu harus diijinkan untuk menggantikan S_{D1}/T pada **Persamaan 7.8-3**. Parameter S_{DS} yang dihitung pada pasal ini dibolehkan untuk digunakan pada **Persamaan 7.8-2, 7.8-4**, Nilai S_I dari peta harus digunakan pada **Persamaan 7.8.5**



Gambar 6.9.2-1 Batas Bawah Spektrum Respons

6.9.5 Percepatan Tanah Puncak Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCE_G)

6.9.5.1 Percepatan Tanah Puncak Gempa MCE_G Probabilistik

Percepatan tanah puncak secara probabilistik dengan rata-rata geometrik harus diambil sebagai nilai rata-rata geometrik dari percepatan tanah puncak dengan 2 persen kemungkinan terlampaui dalam kurun waktu 50 tahun.

6.9.5.2 Percepatan Tanah Puncak Gempa MCE_G Deterministik

Percepatan tanah puncak rata-rata geometrik secara deterministik harus dihitung sebagai nilai terbesar dari 84^{th} percentile rata-rata geometrik percepatan tanah puncak dari perhitungan semua sumber-sumber gempa karakteristik yang berpengaruh pada situs yang ditinjau, yaitu dari sumber patahan yang teridentifikasi dengan jelas secara regional. Nilai deterministik rata-rata geometrik ini tidak boleh diambil lebih kecil dari $0,6 F_{PGA}$, di mana F_{PGA} ditentukan pada **Tabel 6.7-1** dengan nilai PGA diambil sebesar 0,6 g.

6.9.5.3 Percepatan Tanah Puncak Gempa MCE_G Spesifik Situs

Nilai percepatan tanah puncak spesifik-situs, PGA_M , harus diambil sebagai nilai terkecil dari nilai yang didapatkan secara Probabilistik (**6.9.5.1**) dan nilai yang didapatkan secara Deterministik (**6.9.5.2**). Nilai ini juga tidak boleh lebih kecil dari 80 persen nilai PGA_M yang ditentukan dari **Persamaan 6.7-1**

7. PERENCANAAN UMUM STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG

7.1. Struktur Atas dan Struktur Bawah

7.1.1 Persyaratan Dasar

Prosedur analisis dan disain seismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus seperti yang ditetapkan dalam Pasal ini. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah disain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah disain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horisontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah disain. Gaya seismik disain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung,

harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai yang ditunjukkan dalam **Pasal 7.6** dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen-elemen struktur tersebut harus ditentukan. Prosedur alternatif yang disetujui tidak boleh dipakai untuk menentukan gaya seismik dan distribusinya kecuali bila gaya-gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen/elemen strukturnya ditentukan menggunakan model yang konsisten dengan prosedur yang diadopsi.

PENGECUALIAN: Sebagai alternatif, prosedur disain yang disederhanakan pada Bab 8 boleh digunakan sebagai pengganti persyaratan **Pasal 7.1** hingga **7.12**, yang dikenai semua batasan yang termuat dalam **Bab 8**.

7.1.2 Disain Elemen Struktur, Disain Sambungan, dan Batasan Deformasi

Komponen/elemen struktur individu, termasuk yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya seismik, harus disediakan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan geser, gaya aksial, dan momen yang ditentukan sesuai dengan aturan standar ini, dan sambungan-sambungan harus mampu mengembangkan kekuatan komponen/elemen struktur yang disambung atau gaya-gaya sebagaimana yang ditunjukkan dalam **Pasal 7.1.1**. Deformasi struktur tidak boleh melebihi batasan yang ditetapkan pada saat struktur tersebut dikenai gaya seismik disain.

7.1.3 Lintasan Beban yang Menerus dan Keterhubungan

Lintasan atau lintasan-lintasan beban yang menerus dengan kekuatan dan kekakuan yang memadai harus disediakan untuk mentransfer semua gaya dari titik pembebanan hingga titik akhir penumpuan. Semua bagian struktur antara join pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem penahan gaya seismik, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya seismik (F_p) yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus diikat ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen yang mempunyai kuat disain yang mampu menyalurkan gaya seismik yang dihitung sebagai nilai terbesar antara $0,133 S_{DS}$ kali berat bagian yang lebih kecil atau 5 persen berat bagian tersebut. Gaya sambungan ini tidak berlaku pada disain sistem penahan gaya seismik secara keseluruhan. Gaya disain sambungan tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat disalurkan oleh sistem struktur ke sambungan.

7.1.4 Sambungan ke Tumpuan

Sambungan positif untuk menahan gaya horisontal yang bekerja paralel terhadap elemen struktur harus disediakan untuk setiap balok, girder, atau rangka batang baik secara langsung ke elemen tumpuannya, atau ke pelat yang didisain bekerja sebagai diafragma. Jika sambungan tersebut melalui diafragma, maka elemen tumpuan elemen struktur harus juga dihubungkan pada diafragma itu. Sambungan harus mempunyai kuat disain minimum sebesar 5 persen dari reaksi beban mati ditambah beban hidup.

7.1.5 Disain Fondasi

Fondasi harus didisain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah disain. Sifat dinamis gaya, gerak tanah yang diharapkan, dasar disain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur, dan properti dinamis tanah harus disertakan dalam penentuan kriteria disain fondasi. Disain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan **Pasal 7.13**

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, jika 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 dari 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 seismik yang berasal dari struktur atas, beban seismik yang berasal dari gaya inersia sendiri dan beban seismik yang berasal dari tanah sekelilingnya.

Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas pur (*poer*) fondasi tiang.

Apabila penjepitan tidak sempurna dari struktur atas gedung pada struktur bawah diperhitungkan, maka struktur atas gedung tersebut harus diperhitungkan terhadap pengaruh deformasi lateral maupun rotasional dari struktur bawahnya.

Sesuai **Pasal 5.1.5**, dalam perencanaan struktur atas dan struktur bawah suatu gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, struktur bawah tidak boleh gagal lebih dahulu dari struktur atas. Karena itu, disain detail struktur bawah harus disiapkan untuk memenuhi kriteria ini terhadap beban Gempa Rencana. Dalam kaitan ini, maka fondasi secara konsisten perlu didisain menggunakan konsep disain beban terfaktor dan kuat rencana.

7.1.6 Persyaratan Disain dan Pendetailan Material

Elemen struktur termasuk elemen fondasi harus memenuhi persyaratan disain dan pendetailan material yang ditetapkan selanjutnya dalam **Pasal 7.14**.

7.2. Struktur Penahan Beban Seismik

7.2.1 Pemilihan Sistem Struktur

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam **Tabel 7.2-1** atau kombinasi sistem seperti dalam **Pasal 7.2.2, 7.2.3, dan 7.2.4**. Setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam **Tabel 7.2-1**. Faktor modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan faktor pembesaran defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 7.2-1** harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya disain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat disain.

Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam **Tabel 7.2-1** dan persyaratan tambahan yang ditetapkan dalam **Pasal 7.14**.

Sistem penahan gaya seismik yang tidak termuat dalam **Tabel 7.2-1** diijinkan apabila data analitis dan data uji diserahkan kepada pihak yang berwenang memberikan persetujuan, yang membentuk karakteristik dinamis dan menunjukkan tahanan gaya lateral dan kapasitas disipasi energi agar ekuivalen dengan sistem struktur yang terdaftar dalam **Tabel 7.2-1** untuk nilai-nilai ekuivalen dari faktor modifikasi respons, R , faktor kuat-lebih sistem, Ω_0 , dan faktor pembesaran defleksi, C_d .

7.2.2 Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Sistem penahan-gaya seismik yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. 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 **Tabel 7.2-1**.

Tabel 7.2-1 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem Penahan-Gaya Seismik	Pasal SNI 1726 di mana Persyaratan Pendetailan Ditetapkan	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat-Lebih Sistem, Ω_0^g	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^b	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur (m) ^c				
					Kategori Disain Seismik				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. SISTEM DINDING PENUMPU									
1. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	7.2	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	7.2	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	7.2	4	2½	4	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
6. Dinding geser pracetak biasa	7.2	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	7.4	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	7.4	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	7.4	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	7.4	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	7.4	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7.1, dan 7.5	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7.1	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	7.1, dan 7.5	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI

18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	7.1	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. SISTEM RANGKA BANGUNAN									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	7.1	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	7.1	3¼	2	3¼	TB	TB	10'	10'	TI'
4. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	7.2 dan 7.2.2.8	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	7.2	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	7.2	5	2½	4½	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
9. Dinding geser pracetak biasa	7.2	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	7.3	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	7.3	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	7.3	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7.3	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7.3	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	7.3	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	7.4	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	7.4	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	7.4	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7.5	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7.1	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	7.1 dan 7.5	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	7.1	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7.1	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	7.1 dan 5.2.5.5	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7.1	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	5.2.5.7 dan 7.1	4.5	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	5.2.5.6 dan 7.1	3.5	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	5.2.5.5 dan 7.2	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	7.2	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	7.2	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	5.2.5.5 dan 7.3	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	7.3	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	7.3	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	7.3	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	7.1	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. SISTEM GANDA DENGAN RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MAMPU MENAHAN PALING SEDIKIT 25 PERSEN GAYA GEMPA YANG DITETAPKAN	5.2.5.1								

1. Rangka baja dengan bresing eksentris	7.1	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	7.3	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	7.3	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7.3	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7.3	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	7.3	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	7.1	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	7.1	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E. SISTEM GANDA DENGAN RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH MAMPU MENAHAN PALING SEDIKIT 25 PERSEN GAYA GEMPA YANG DITETAPKAN	5.2.5.1								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^f	7.1	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI ^{h,k}
2. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	7.3	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	7.3	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	7.3	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. SISTEM INTERAKTIF DINDING GESER-RANGKA DENGAN RANGKA PEMIKUL MOMEN BETON BERTULANG BIASA DAN DINDING GESER BETON BERTULANG BIASA	5.2.5.8 dan 7.2	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. SISTEM KOLOM KANTILEVER DIDETAILED UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN UNTUK :	5.2.5.2								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	7.1	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	7.1	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	TI ^{h,i}	TI ^{h,i}
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	5.2.5.5 dan 7.2	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	7.2	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	7.2	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	7.5	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. SISTEM BAJA TIDAK DIDETAILED SECARA KHUSUS UNTUK KETAHANAN GEMPA, TIDAK TERMASUK SISTEM KOLOM KANTILEVER	7.1	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

^a Faktor modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan standar. **Catatan:** R mereduksi gaya sampai tingkat kekuatan, bukan tingkat tegangan ijin.

^b Faktor pembesaran defleksi, C_d , untuk penggunaan dalam **Pasal 7.8.6, 7.8.7, dan 7.9.2.**

^c TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Dijinkan.

^d Lihat **Pasal 7.2.5.4** untuk penjelasan sistem penahan gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.

^e Lihat **Pasal 7.2.5.4** untuk sistem penahan gaya seismik yang dibatas sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

^f Rangka pemikul momen biasa diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti rangka pemikul momen menengah untuk Kategori Disain Seismik B atau C.

^g Harga tabel faktor kuat-lebih, Ω_0 , diijinkan untuk direduksi dengan mengurangi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 2,0 untuk segala struktur, kecuali untuk sistim kolom kantilever

^h Lihat **Pasal 7.2.5.6 dan 7.2.5.7** untuk struktur yang dikenai Kategori Disain Seismik D atau E.

ⁱ Lihat **Pasal 7.2.5.6 dan 7.2.5.7** untuk struktur yang dikenai Kategori Disain Seismik F.

^j Rangka baja dengan bresing konsentris biasa baja diijinkan pada bangunan satu tingkat sampai ketinggian 18 m di mana beban mati atap tidak melebihi 0,96 kN/m² dan pada struktur griya tawang.

^k Penambahan ketinggian sampai 13,7 m diijinkan untuk fasilitas gudang penyimpanan satu tingkat

^lDinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural

^mDefinisi “ dinding struktural khusus”, termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.

ⁿDefinisi “Rangka Momen Khusus”, termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.

^oSecara berurutan, efek beban seismik dengan kuat lebih E_{mh} , diijinkan berdasarkan perkiraan kekuatan yang ditentukan sesuai dengan standar yang berlaku

^pRangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan harus dibatasi untuk bangunan dengan tinggi satu lantai sesuai dengan standar yang berlaku

7.2.3 Kombinasi Sistem Rangka dalam Arah yang Sama

Jika sistem penahan gaya seismik yang berbeda digunakan dalam kombinasi untuk menahan gaya seismik dalam arah respons struktur yang sama, selain dari kombinasi-kombinasi yang dianggap sebagai sistem ganda, batasan sistem yang lebih ketat termuat dalam **Tabel 7.2-1** harus dikenakan dan disainnya harus sesuai dengan persyaratan pasal ini.

7.2.3.1 Nilai-Nilai R , C_d , dan Ω_0 untuk Kombinasi Vertikal

Jika sistem struktur mempunyai kombinasi vertikal dalam arah yang sama, maka persyaratan dibawah ini harus diikuti :

- Jika struktur bagian bawah memiliki faktor modifikasi respons (R) yang lebih kecil, maka koefisien disain (R , Ω_0 , dan C_d) untuk struktur bagian atas diijinkan untuk digunakan menghitung gaya dan simpangan antar lantai. Untuk disain struktur bagian bawah koefisien (R , Ω_0 , dan C_d) yang sesuai harus digunakan. Gaya yang ditransfer dari struktur atas harus diperbesar dengan mengalikannya dengan perbandingan nilai faktor modifikasi respons terbesar terhadap faktor modifikasi respons terkecil.
- Jika struktur atas memiliki nilai faktor modifikasi respons yang lebih kecil, maka koefisien disain (R , Ω_0 , dan C_d) struktur atas harus digunakan untuk kedua struktur atas maupun struktur bawah.

PENGECEUALIAN:

1. Struktur atap dengan ketinggian tidak melebihi dua tingkat dan 10 persen berat struktur total.
2. Sistem struktur penumpu lainnya dengan berat sama atau kurang dari 10 persen berat struktur.
3. Hunian mandiri satu dan dua keluarga dari konstruksi rangka ringan.

7.2.3.2 Prosedur Analisis Dua Tahap

Prosedur gaya lateral ekivalen dua tahap diijinkan untuk digunakan untuk struktur yang mempunyai bagian atas yang fleksibel di atas bagian bawah yang kaku, asalkan disain struktur dilakukan sesuai dengan hal-hal berikut ini:

- a. Kekakuan bagian bawah harus paling sedikit 10 kali kekakuan bagian atas.
- b. Perioda struktur keseluruhan tidak boleh lebih besar dari 1,1 kali perioda bagian atas yang dianggap sebagai struktur terpisah yang ditumpu pada peralihan antara bagian atas ke bagian bawah.
- c. Bagian atas yang fleksibel harus didisain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai R dan ρ yang sesuai.
- d. Bagian bawah yang kaku harus didisain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai R dan ρ yang sesuai. Reaksi dari bagian atas harus ditentukan dari analisis bagian atas yang diperbesar dengan rasio R/ρ bagian atas terhadap R/ρ bagian bawah. Rasio ini tidak boleh kurang dari 1,0.
- e. Bagian atas dianalisis dengan gaya lateral ekivalen atau prosedur ragam spektrum respons, dan bagian bawah dianalisis dengan prosedur gaya lateral ekivalen.

7.2.3.3 Nilai-Nilai R , C_d , dan Ω_0 untuk Kombinasi Horisontal

Jika kombinasi sistem struktur berbeda dimanfaatkan untuk menahan gaya lateral dalam arah yang sama, nilai R yang digunakan untuk disain dalam arah itu tidak boleh lebih besar daripada nilai R terkecil dari semua sistem yang dimanfaatkan dalam arah itu.

Faktor pembesaran defleksi, C_d , dan faktor kuat-lebih sistem, Ω_0 , dalam arah yang ditinjau di semua tingkat tidak boleh kurang dari nilai terbesar faktor ini untuk faktor R yang digunakan dalam arah yang sama dengan yang ditinjau.

PENGECEUALIAN: Elemen penahan diijinkan untuk didisain menggunakan nilai R terkecil untuk sistem struktur berbeda yang didapati pada setiap baris tahanan yang independen jika tiga kondisi berikut dipenuhi: (1) Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II, (2) ketinggian dua tingkat atau kurang, dan (3) penggunaan konstruksi rangka ringan atau diafragma fleksibel. Nilai R yang digunakan untuk disain diafragma dalam struktur tersebut tidak boleh lebih besar dari nilai terkecil untuk semua sistem yang dimanfaatkan dalam arah yang sama.

7.2.4 Persyaratan Pendetailan Rangka Kombinasi

Elemen struktur umum yang terdapat pada sistem rangka berbeda yang digunakan untuk menahan gerak gempa dalam semua arah harus didisain menggunakan persyaratan pendetailan pada **Bab 7** yang disyaratkan untuk nilai faktor modifikasi respons tertinggi, R , dari sistem rangka yang terhubung.

7.2.5 Persyaratan Spesifik Sistem

Sistem rangka struktur harus juga memenuhi persyaratan spesifik sistem sesuai pasal-pasal berikut ini.

7.2.5.1 Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa disain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

7.2.5.2 Sistem Kolom Kantilever

Sistem kolom kantilever diijinkan untuk digunakan seperti ditunjukkan dalam **Tabel 7.2-1** dan bagian berikut ini. Kuat aksial perlu pada elemen-elemen kolom kantilever individu, dengan meninjau hanya kombinasi beban yang mencakup pengaruh beban seismik saja, tidak boleh melebihi 15 persen kuat aksial kolom yang tersedia, termasuk pengaruh faktor kelangsingan.

Fondasi dan elemen lainnya yang digunakan untuk menyediakan tahanan guling di dasar elemen kolom kantilever harus mempunyai kekuatan untuk menahan kombinasi beban dengan pengaruh beban seismik, termasuk dengan faktor kuat-lebih sesuai **Pasal 7.4.3**.

7.2.5.3 Struktur Tipe Bandul Terbalik

Tanpa memperdulikan sistem struktur yang dipilih, bandul terbalik seperti yang didefinisikan dalam **Bab 3** harus sesuai dengan pasal ini. Kolom pendukung atau pier struktur tipe bandul terbalik harus didisain terhadap momen lentur yang dihitung di dasar kolom yang ditentukan dengan menggunakan prosedur yang diberikan dalam **Pasal 7.8** dan bervariasi secara seragam hingga momen di puncak yang besarnya sama dengan setengah momen lentur yang dihitung di dasar kolom.

7.2.5.4 Batasan Ketinggian Bangunan Yang Ditingkatkan untuk Rangka Bresing Baja dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus

Batasan ketinggian dalam **Tabel 7.2-1** diijinkan untuk ditingkatkan dari 50 m sampai 75 m untuk struktur yang dirancang dengan Kategori Disain Seismik D atau E, dan dari 30 m sampai 50 m untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik F, apabila struktur mempunyai sistem penahan gaya gempa berupa rangka baja dengan bresing eksentris, rangka baja dengan bresing konsentris khusus, rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk, dinding geser pelat baja khusus, atau dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus; dan struktur memenuhi kedua persyaratan berikut:

1. Struktur tidak boleh mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan seperti didefinisikan dalam **Tabel 7.3-1** (ketidakberaturan struktur horisontal Tipe 1b).
2. Rangka baja dengan bresing eksentrik, rangka baja dengan bresing konsentrik khusus, rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk, dinding geser pelat baja khusus, pada semua bidang harus menahan tidak lebih dari 60 persen gaya gempa total dalam setiap arah, dengan mengabaikan pengaruh torsi tak terduga.

7.2.5.5 Rangka Pemikul Momen Khusus pada Struktur dengan Kategori Disain Seismik D sampai F.

Untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F, rangka pemikul momen khusus yang digunakan tapi tidak disyaratkan oleh **Tabel 7.2-1**, tidak boleh dihentikan dan didukung oleh sistem yang lebih kaku dengan faktor modifikasi respons, R , yang lebih rendah, kecuali jika persyaratan **Pasal 7.3.3.2 dan 7.3.3.4** dipenuhi. Jika rangka pemikul momen khusus disyaratkan oleh **Tabel 7.2-1**, rangka tersebut harus menerus sampai fondasi.

7.2.5.6 Rangka Baja Pemikul Momen Biasa

7.2.5.6.1 Kategori Disain Seismik D atau E

1. Struktur rangka baja satu lantai biasa yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D atau E, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur (h_n), 20 m di mana beban mati yang ditanggung dan tributari beban atap tidak lebih besar dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.

PENGECEUALIAN: Struktur rangka baja pemikul momen biasa yang digunakan untuk menutupi peralatan atau mesin dan termasuk yang digunakan untuk melakukan perbaikan, atau memantau peralatan, mesin atau proses yang terkait, diijinkan tidak dibatasi ketinggiannya di mana total beban mati dan beban peralatan yang didukung dan tributari beban atap tidak lebih dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$. Untuk menentukan beban dinding eksterior atau beban atap, berat peralatan atau mesin, termasuk *crane*, yang tidak didukung sendiri harus diasumsikan tributari penuh terhadap area dinding eksterior yang bersebelahan, atau atap tidak lebih besar dari $55,8 \text{ m}^2$, tanpa memperhatikan ketinggiannya di atas dasar struktur.

2. Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Biasa yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D atau E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam **Pasal 7.2.5.6.1** diijinkan dalam rangka ringan sampai ketinggian h_n , 10 m, di mana tidak ada beban mati atap juga beban mati disemua lantai di atas dasar yang didukung dan tributari pada rangka momen lebih dari 1.68 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari 0.96 kN/m^2 .

7.2.5.6.2 Kategori Disain Seismik F

Sistem rangka momen satu lantai yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik F diijinkan memiliki ketinggian h_n , 20 m di mana beban mati yang didukung dan tributari beban atap tidak melebihi 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan tributari beban mati dari dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari 0.96 kN/m^2 .

7.2.5.7 Rangka Baja Pemikul Momen Menengah

7.2.5.7.1 Kategori Disain Seismik D

1. Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur (h_n), 20 m di mana beban mati yang ditanggung dan beban tributari atap tidak lebih besar dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.

PENGECEUALIAN: Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang digunakan untuk menutupi peralatan atau mesin dan termasuk yang digunakan untuk melakukan perbaikan, atau memantau peralatan, mesin atau proses yang terkait, diijinkan tidak dibatasi ketinggiannya di mana total beban mati dan beban peralatan yang didukung dan beban tributari atap tidak lebih dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$. Untuk menentukan beban dinding eksterior atau beban atap, berat peralatan atau mesin, termasuk *crane*, yang tidak didukung sendiri harus diasumsikan tributari penuh terhadap area dinding eksterior yang bersebelahan, atau atap tidak lebih besar dari $55,8 \text{ m}^2$ tanpa memperhatikan ketinggiannya di atas dasar struktur.

2. Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam **Pasal 7.2.5.7.1** diijinkan dalam rangka ringan sampai ketinggian h_n , 10 m.

7.2.5.7.2 Kategori Disain Seismik E

1. Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik E, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur (h_n), 20 m di mana beban mati yang ditanggung dan beban tributari atap tidak lebih besar dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka penahan momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.

PENGECEUALIAN: Struktur rangka pemikul momen menengah yang digunakan untuk menutupi peralatan atau mesin dan termasuk yang digunakan untuk melakukan perbaikan, atau memantau peralatan, mesin atau proses yang terkait, diijinkan tidak dibatasi ketinggiannya di mana total beban mati dan beban peralatan yang didukung dan beban tributari atap tidak lebih dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$. Untuk menentukan beban dinding eksterior atau beban atap, berat peralatan atau mesin, termasuk *crane*, yang tidak didukung sendiri harus diasumsikan tributari penuh terhadap area dinding eksterior yang bersebelahan, atau atap tidak lebih besa dari $55,8 \text{ m}^2$ tanpa memperhatikan ketinggiannya di atas dasar struktur.

2. Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam **Pasal 7.2.5.7.2** diijinkan dalam rangka ringan sampai ketinggian h_n , 10 m, di mana tidak ada beban mati atap juga beban mati di semua lantai di atas dasar yang didukung dan tributari pada rangka momen lebih dari 1.68 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari 0.96 kN/m^2 .

7.2.5.7.3 Kategori Disain Seismik F

- 1 Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik F, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur (h_n), 20 m di mana beban mati yang ditanggung dan beban tributari atap tidak lebih besar dari 0.96 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi $0,96 \text{ kN/m}^2$.
- 2 Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Menengah yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam **Pasal 7.2.5.7.3 (1)** diijinkan dalam rangka ringan sampai ketinggian h_n , 10 m, di mana tidak ada beban mati atap juga beban mati disemua lantai diatas dasar yang didukung dan tributari pada rangka momen lebih dari 1.68 kN/m^2 . Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka pemikul momen tidak boleh lebih besar dari 0.96 kN/m^2 .

7.2.5.8 Sistem Interaktif Dinding Geser-Rangka.

Kuat geser dinding geser dari sistem dinding geser-rangka interaktif harus paling sedikit 75 persen dari geser tingkat disain di setiap tingkat. Rangka dari sistem interaktif dinding geser-rangka harus mampu menahan paling sedikit 25 persen geser tingkat disain pada setiap tingkat.

7.3. Lantai Tingkat Sebagai Diafragma, Ketidakberaturan Konfigurasi, dan Redundansi

7.3.1 Fleksibilitas Diafragma.

Analisis struktur harus memperhitungkan kekakuan relatif diafragma dan elemen vertikal sistem penahan gaya seismik. Kecuali jika diafragma dapat diidealisasikan baik fleksibel ataupun kaku sesuai dengan **Pasal 7.3.1.1, 7.3.1.2, atau 7.3.1.3**, analisis struktur harus secara eksplisit menyertakan peninjauan kekakuan diafragma (yaitu, asumsi pemodelan semi kaku).

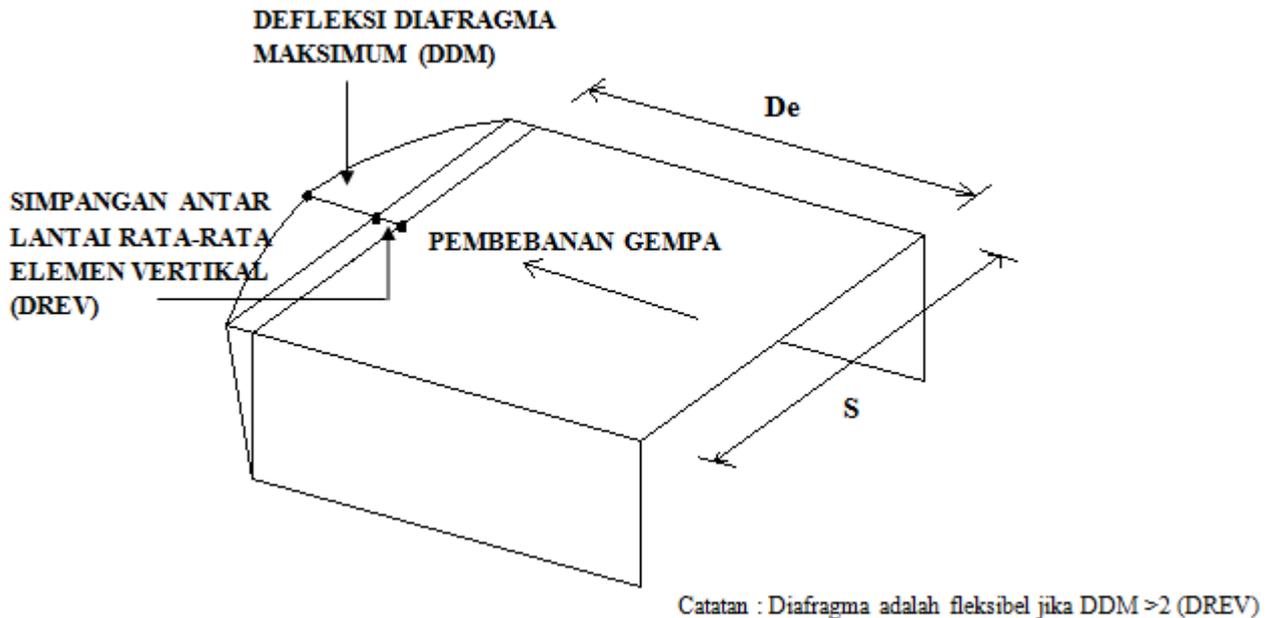
7.3.1.1 Kondisi Diafragma Fleksibel

Diafragma yang terbuat dari dek baja atau panel struktur kayu tanpa diberi penutup (*topping*) beton dapat diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel jika memenuhi kondisi dibawah ini:

- Struktur dimana elemen vertikal adalah rangka baja dengan bresing, rangka baja dan beton komposit dengan bresing, atau dinding geser beton, batu-bata, baja, atau dinding geser baja dan beton komposit
- Bangunan hunian satu atau dua lantai
- Struktur rangka ringan, di mana kondisi dibawah ini terpenuhi
 - Penutup beton atau material yang sama tidak ditempatkan diatas panel diafragma kayu kecuali untuk penutup nonstruktural dengan tebal tidak lebih dari 38 mm.
 - Setiap elemen vertikal dari sistem penahan gaya seismik memenuhi syarat tingkat simpangan antar lantai pada **Tabel 7.12-1**.

7.3.1.2 Kondisi Diafragma Kaku

Diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup (*topping*) beton dengan perbandingan S/D_e sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horisontal dapat diidealisasikan sebagai diafragma kaku. Lihat **Gambar 7.3-1** untuk definisi S dan D_e .



Gambar 7.3-1 Diafragma Fleksibel

7.3.1.3 Kondisi Diafragma Fleksibel yang Dihitung

Diafragma yang tidak memenuhi kondisi **Pasal 7.3.1.1** atau **7.3.1.2**, boleh diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel bila defleksi maksimum diafragma arah bidang yang dihitung akibat beban lateral adalah lebih besar dari dua kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata elemen vertikal sistem penahan gaya seismik yang terhubung di tingkat yang ditinjau akibat beban lateral tributari ekuivalen seperti ditunjukkan dalam **Gambar 7.3-1**. Pembebanan yang digunakan untuk perhitungan ini harus sesuai dengan yang ditentukan **Pasal 7.8**.

7.3.2 Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam pasal ini. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horisontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

7.3.2.1 Ketidakberaturan Horisontal

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam **Tabel 7.3-1** harus dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori disain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam **Tabel 7.3-1** harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel itu.

7.3.2.2 Ketidakberaturan Vertikal

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam **Tabel 7.3-2** harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori disain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam **Tabel 7.3-2** harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel itu.

PENGECEUALIAN:

1. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam **Tabel 7.3-2** tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar lantai akibat gaya seismik lateral disain yang nilainya lebih besar dari 130 persen rasio simpangan antar lantai tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar lantai. Hubungan rasio simpangan antar lantai tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi.
2. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, dan 2 dalam **Tabel 7.3-2** tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori disain seismik atau bangunan dua tingkat yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik B, C, atau D.

7.3.3 Batasan dan Persyaratan Tambahan untuk Sistem dengan Ketidakberaturan Struktur.

7.3.3.1 Ketidakberaturan Horisontal dan Vertikal Struktur yang Terlarang untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik E atau F dan memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1b atau ketidakberaturan vertikal Tipe 1b, 5a, atau 5b tidak boleh digunakan. Struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D dan memiliki ketidakberaturan vertikal Tipe 5b tidak boleh digunakan.

7.3.3.2 Tingkat Lemah Berlebihan

Struktur dengan ketidakberaturan vertikal Tipe 5b sebagaimana yang didefinisikan dalam **Tabel 7.3-2**, tidak boleh melebihi dua tingkat atau ketinggian 9 m.

PENGECEUALIAN: Batasan ini tidak berlaku jika tingkat “lemah” mampu menahan gaya seismik total yang besarnya sama dengan Ω_0 kali gaya disain yang ditetapkan dalam **Pasal 7.8**.

7.3.3.3 Elemen yang Mendukung Dinding atau Rangka Tak Menerus

Kolom, balok, rangka batang, atau pelat yang mendukung dinding atau rangka struktur yang tidak menerus dan yang mempunyai ketidakberaturan horisontal Tipe 4 pada **Tabel 7.3-1** atau ketidakberaturan vertikal Tipe 4 pada **Tabel 7.3-2** harus direncanakan untuk menahan efek gaya seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan **Pasal 7.4.3**. Sambungan elemen diskontinu tersebut ke elemen struktur pendukung harus cukup untuk menyalurkan gaya pada mana elemen diskontinu tersebut disyaratkan untuk didisain.

7.3.3.4 Peningkatan Gaya Akibat Ketidakberaturan untuk Kategori Disain Seismik D hingga F

Untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 pada **Tabel 7.3-1** atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada **Tabel 7.3-2**, gaya disain yang ditentukan berdasarkan **Pasal 7.10.1.1** harus ditingkatkan 25 persen untuk elemen-elemen sistem penahan gaya seismik di bawah ini :

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal, dari sistem penahan gaya seismik

PENGECEUALIAN: Gaya yang dihitung menggunakan efek gaya seismik, termasuk faktor kuat lebih sesuai **Pasal 7.4.3**, tidak perlu diperbesar.

Tabel 7.3-1 Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Disain Seismik
1a.	Ketidakteraturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 7.6-1 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan Torsi Berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 7.6-1 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakteraturan Sudut Dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 5.6-1	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 7.6-1	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan Pergeseran Melintang terhadap Bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

		Tabel 7.6-1 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 7.6-1 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 7.3-2 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Disain Seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 7.6-1	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 7.6-1	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 7.6-1	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya seismik di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 7.6-1	D, E, dan F
4.	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 7.6-1	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 7.6-1	E dan F D, E, dan F
5b.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 7.6-1	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

7.3.4 Redundansi

Faktor redundansi, ρ , harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan pasal ini.

7.3.4.1 Kondisi Di mana Nilai ρ adalah 1,0

Nilai ρ diijinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

- Struktur dirancang untuk Kategori Disain Seismik B atau C.
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta.
- Disain komponen nonstruktural.
- Disain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
- Disain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan **Pasal 7.4.3** digunakan.
- Disain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan **Pasal 7.4.3** disyaratkan untuk disain.
- Beban diafragma ditentukan menggunakan **Persamaan 7.10-1**.
- Struktur dengan sistem peredaman
- Disain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Tabel 7.3-3 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih dari 35 Persen Gaya Geser Dasar

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
------------------------------------	--------------------

Rangka dengan Bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horisontal Tipe 1b).
Rangka Pemikul Momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horisontal Tipe 1b).
Dinding Geser atau Pilar Dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horisontal Tipe 1b).
Kolom Kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horisontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan

7.3.4.2 Faktor Redundansi, ρ , untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan **Tabel 7.3-3**.
- Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan.

7.4. Kombinasi dan Pengaruh Beban Seismik

7.4.1 Lingkup Penerapan

Semua elemen struktur, termasuk yang bukan bagian sistem penahan gaya seismik, harus didisain menggunakan pengaruh beban seismik dari **Pasal 7.4** kecuali jika sebaliknya dibebaskan oleh standar ini. Pengaruh beban seismik adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya seismik horisontal dan vertikal seperti ditetapkan selanjutnya dalam **Pasal 7.4.2**. Jika disyaratkan secara spesifik, pengaruh beban seismik harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat-lebih sistem, seperti ditetapkan selanjutnya dalam **Pasal 7.4.3**.

7.4.2 Pengaruh Beban Seismik

Pengaruh beban seismik, E , harus ditentukan sesuai dengan berikut ini:

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 7.4-1 berikut :

$$E = E_h + E_v \quad (7.4-1)$$

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 8 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 7.4-2 berikut :

$$E = E_h - E_v \quad (7.4-2)$$

di mana

E = pengaruh beban seismik

E_h = pengaruh gaya seismik horisontal seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.4.2.1**.

E_v = pengaruh gaya seismik vertikal seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.4.2.2**.

7.4.2.1 Pengaruh Gaya Seismik Horisontal

Pengaruh beban seismik horisontal, E_h , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.4-3** sebagai berikut :

$$E_h = \rho Q_E \quad (7.4-3)$$

di mana

Q_E = pengaruh gaya seismik horisontal dari V atau F_p . Jika disyaratkan dalam **Pasal 7.5.3 dan 7.5.4**, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horisontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

ρ = faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.3.4**

7.4.2.2 Pengaruh Beban Seismik Vertikal

Pengaruh beban seismik vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.4-4** berikut:

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (7.4-4)$$

di mana

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons disain pada perioda pendek yang diperoleh dari **Pasal 6.9.4**

D = pengaruh beban mati

PENGECUALIAN: Pengaruh beban seismik vertikal, E_v , diijinkan untuk ditetapkan sama dengan nol untuk salah satu kondisi berikut ini:

1. Dalam **Persamaan 7.4-1, 7.4-2, 7.4-5, dan 7.4-6** di mana S_{DS} adalah sama dengan atau kurang dari 0,125.
2. Dalam **Persamaan 7.4-2** jika menentukan kebutuhan pada muka-kontak tanah-struktur di fondasi.

7.4.2.3 Kombinasi Beban Seismik

Jika pengaruh gaya seismik yang ditetapkan, E , yang didefinisikan dalam **Pasal 7.4.2**, dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam **Pasal 4**, kombinasi beban seismik berikut untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban seismik baik dalam **Pasal 4.2.2 atau 4.2.3**:

Kombinasi Dasar untuk Disain Kekuatan (lihat **Pasal 4.2.2 dan 3** untuk notasi).

5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + L$
7. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + 1,6H$

CATATAN:

1. Faktor beban pada L dalam kombinasi 5 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian di mana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m^2 , dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan.
2. Faktor beban pada H harus ditetapkan sama dengan nol dalam kombinasi 7 jika aksi struktur akibat H berlawanan dengan aksi struktur akibat E . Jika tekanan tanah lateral memberikan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, faktor beban tidak boleh dimasukkan dalam H tetapi harus dimasukkan dalam tahanan disain.

Kombinasi Dasar untuk Disain Tegangan Ijin (lihat **Pasal 4.2.3 dan 3.2** untuk notasi).

5. $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 0,7\rho Q_E$
6. $(1,0 + 0,105S_{DS})D + H + F + 0,525\rho Q_E + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
8. $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 0,7\rho Q_E + H$

7.4.3 Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat-Lebih

Jika disyaratkan secara spesifik, kondisi yang mensyaratkan penerapan faktor kuat-lebih harus ditentukan sesuai dengan berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus diambil sama dengan E_m seperti ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.4-5** sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} + E_v \quad (7.4-5)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 8 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus diambil sama dengan E_m seperti ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.4-6** sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} - E_v \quad (7.4-6)$$

di mana

E_m = pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat-lebih

E_{mh} = pengaruh gaya seismik horisontal termasuk kuat-lebih struktur seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.4.3.1**.

E_v = pengaruh beban seismik vertikal seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.4.2.2**.

7.4.3.1 Pengaruh Beban Seismik Horizontal dengan Faktor Kuat-Lebih

Pengaruh beban seismik horizontal dengan faktor kuat-lebih, E_{mh} , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.4-7** sebagai berikut:

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E \quad (7.4-7)$$

di mana

Q_E = pengaruh gaya seismik horizontal dari V , F_{px} atau F_p seperti ditetapkan masing-masing dalam **Pasal 7.8.1, 7.10 dan 9.2.1**. Jika disyaratkan dalam **Pasal 7.5.3 atau 7.5.4**, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

Ω_0 = faktor kuat-lebih

PENGECUALIAN: Nilai E_{mh} tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat terjadi dalam elemen seperti ditentukan oleh analisis mekanisme plastis atau analisis respons nonlinier rasional yang memanfaatkan nilai kuat material realistik yang diharapkan.

7.4.3.2 Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat-Lebih

Jika pengaruh beban seismik dengan kuat-lebih, E_m , yang didefinisikan dalam **Pasal 7.4.3** dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam **Pasal 4.2**, kombinasi beban seismik berikut untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban seismik baik dalam **Pasal 4.2.2 atau 4.2.3**:

Kombinasi Dasar untuk Disain Kekuatan dengan Faktor Kuat-Lebih (lihat **Pasal 4.2.2 dan Bab 3** untuk notasi).

5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + \Omega_0 Q_E + L$
7. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + \Omega_0 Q_E + 1,6H$

CATATAN:

1. Faktor beban pada L dalam kombinasi 5 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian di mana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m^2 , dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan.
2. Faktor beban pada H harus ditetapkan sama dengan nol dalam kombinasi 7 jika aksi struktur akibat H melawan yang diakibatkan E . Jika tekanan tanah lateral menyediakan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, faktor beban tidak boleh dimasukkan dalam H tetapi harus dimasukkan dalam tahanan disain.

Kombinasi Dasar untuk Disain Tegangan Ijin dengan Faktor Kuat-Lebih (lihat **Pasal 4.2.3 dan 3** untuk notasi).

5. $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 0,7\Omega_0 Q_E$
6. $(1,0 + 0,105S_{DS})D + H + F + 0,525\Omega_0 Q_E + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
8. $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 0,7\Omega_0 Q_E + H$

7.4.3.3 Peningkatan Tegangan Ijin untuk Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat-Lebih

Jika metodologi disain tegangan ijin digunakan dengan pengaruh beban seismik didefinisikan dalam **Pasal 7.4.3** diterapkan dalam kombinasi beban 5, 6, atau 8 dari **Pasal 4.2.3**, maka tegangan ijin diperbolehkan untuk ditingkatkan sebesar 1,2. Peningkatan ini tidak boleh dikombinasikan dengan peningkatan tegangan ijin atau reduksi kombinasi beban kecuali bila diijinkan oleh standar ini.

7.4.4 Gaya Ke Atas Minimum untuk Kantilever Horizontal untuk Kategori Disain Seismik D sampai F.

Dalam struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F, elemen struktur kantilever horizontal harus didisain untuk gaya ke atas bersih minimum sebesar 0,2 kali beban mati sebagai tambahan untuk kombinasi beban yang sesuai dari **Pasal 7.4**.

7.5. Arah Pembebanan Seismik

7.5.1 Kriteria Arah Pembebanan

Arah penerapan gaya seismik yang digunakan dalam disain harus merupakan arah yang akan menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Arah penerapan gaya seismik diijinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan prosedur **Pasal 7.5.2**, untuk Kategori Disain Seismik B, **Pasal 7.5.3**, untuk Kategori Disain Seismik C, dan **Pasal 7.5.4**, untuk Kategori Disain Seismik D, E, dan F.

7.5.2 Kategori Disain Seismik B

Untuk struktur bangunan yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik B, gaya seismik disain diijinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah ortogonal dan pengaruh interaksi ortogonal diijinkan untuk diabaikan.

7.5.3 Kategori Disain Seismik C

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C harus, minimum, sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.5.2**, untuk Kategori Disain Seismik B dan persyaratan pasal ini. Struktur yang mempunyai ketidakteraturan struktur horisontal Tipe 5 dalam **Tabel 7.3-1** harus menggunakan salah satu dari prosedur berikut:

- a. **Prosedur Kombinasi Ortogonal.** Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen dari **Pasal 7.8**, prosedur analisis spektrum respons ragam dari **Pasal 7.9**, atau prosedur riwayat respons linier dari **Pasal 11.1**, seperti diijinkan dalam **Pasal 7.6**, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah ortogonal. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didisain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut: 100 persen gaya untuk satu arah ditambah 30 persen gaya untuk arah tegak lurus; kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan.
- b. **Penerapan Serentak Gerak tanah Ortogonal.** Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respons linier dari **Pasal 11.1** atau prosedur riwayat respons nonlinier dari **Pasal 11.2**, seperti diijinkan oleh **Pasal 7.6**, dengan pasangan ortogonal riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

7.5.4 Kategori Disain Seismik D sampai F

Struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F harus, minimum, sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.5.3**. Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang membentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya seismik yang berpotongan dan dikenai beban aksial akibat gaya seismik yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 persen kuat disain aksial kolom atau dinding harus didisain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya seismik dalam semua arah. Baik prosedur **Pasal 7.5.3a** atau **b**, diijinkan untuk digunakan untuk memenuhi persyaratan ini. Kecuali seperti disyaratkan oleh **Pasal 7.7.3**, analisis 2 dimensi diijinkan untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

7.6. Prosedur Analisis

Analisis struktur yang disyaratkan oleh **Pasal 7** harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam **Tabel 7.6-1**, berdasarkan pada kategori disain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis, dan keteraturan, atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan untuk digunakan. Prosedur analisis yang dipilih harus dilengkapi sesuai dengan persyaratan dari pasal yang terkait yang dirujuk dalam **Tabel 7.6-1**.

7.7. Kriteria Pemodelan

7.7.1 Pemodelan Fondasi

Untuk tujuan penentuan beban seismik, pemodelan fondasi diijinkan dengan menganggap struktur terjepit di dasarnya. Sebagai alternatif, jika fleksibilitas fondasi diperhitungkan, pemodelan fondasi harus sesuai dengan **Pasal 7.13.3** atau **Bab 13**.

7.7.2 Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif struktur, W , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).
2. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam disain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar di antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar $0,48 \text{ kN/m}^2$.
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
4. Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

Tabel 7.6-1 Prosedur Analisis Yang Boleh Digunakan

Kategori Disain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 7.8	Analisis Spektrum Respons Ragan 7.9	Prosedur Riwayat Respons Seismik 12
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	±	±	±
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	±	±	±
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakaturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 7.3-1 atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 7.3-2	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN: I: Diiijinkan; TI: Tidak Diiijinkan

7.7.3 Pemodelan Struktur

Model matematika struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-Delta. Model harus menyertakan kekakuan dan kekuatan elemen yang signifikan terhadap distribusi gaya dan deformasi dalam struktur dan merepresentasikan distribusi massa dan kekakuan secara spasial pada seluruh struktur.

Sebagai tambahan, model tersebut harus sesuai dengan hal berikut ini:

- Properti kekakuan elemen beton dan batu bata harus memperhitungkan pengaruh penampang retak.
- Untuk sistem rangka baja pemikul momen, kontribusi deformasi daerah panel pada simpangan antar lantai tingkat keseluruhan harus disertakan.

Struktur yang mempunyai ketidakaturan struktur horisontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 dari **Tabel 7.3-1** harus dianalisis menggunakan penggambaran 3-D. Jika model 3-D digunakan, minimum tiga derajat kebebasan dinamis yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur. Jika diafragma belum diklasifikasikan sebagai kaku atau fleksibel sesuai dengan **Pasal 7.3.1**, model tersebut harus menyertakan representasi karakteristik kekakuan diafragma dan derajat kebebasan dinamis tambahan tersebut diperlukan untuk memperhitungkan partisipasi diafragma dalam respons dinamis struktur.

PENGECUALIAN: Analisis menggunakan representasi 3-dimensi tidak diperlukan untuk struktur dengan diafragma fleksibel yang memiliki ketidakberaturan horisontal struktur Tipe 4.

7.7.4 Pengaruh Interaksi

Rangka penahan momen yang dilingkupi atau dihubungkan oleh elemen yang lebih kaku dan tidak dianggap sebagai bagian sistem penahan gaya seismik harus didisain agar aksi atau kegagalan elemen tersebut tidak akan memperparah beban vertikal dan kemampuan rangka penahan gaya seismik. Disainnya harus memperhitungkan pengaruh elemen kaku ini pada sistem struktur pada deformasi struktur yang terkait dengan simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) seperti ditentukan dalam **Pasal 7.8.6**. Sebagai tambahan, pengaruh elemen ini harus diperhitungkan bila menentukan apakah suatu struktur mempunyai satu atau lebih ketidakaturan yang didefinisikan dalam **Pasal 7.3.2**.

7.8. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

7.8.1 Geser Dasar Seismik

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

$$V = C_s W \quad (7.8-1)$$

di mana

- C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 7.8.1.1**,
 W = berat seismik efektif menurut **Pasal 7.7.2**.

7.8.1.1 Perhitungan Koefisien Respons Seismik.

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.8-2**.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7.8-2)$$

di mana

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda pendek seperti ditentukan dari **Pasal 6.9.4**

R = faktor modifikasi respons dalam **Tabel 7.2-1**

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 4.1.2**

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan **Persamaan 7.8-2** tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7.8-3)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (7.8-4)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7.8-5)$$

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam **Pasal 7.8.1.1**, dan

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons disain pada perioda sebesar 1,0 detik, seperti ditentukan dari **Pasal 6.9.4**

T = perioda struktur dasar (detik) yang ditentukan dalam **Pasal 7.8.2**,

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 6.9.4**

7.8.1.2 Reduksi Interaksi Tanah Struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diijinkan bila ditentukan menggunakan **Bab 13** atau prosedur yang diterima secara umum lainnya yang disetujui oleh pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum.

7.8.1.3 Nilai S_s Maksimum dalam Penentuan C_s

Untuk struktur beraturan dengan ketinggian lima tingkat atau kurang dan mempunyai perioda, T , sebesar 0,5 detik atau kurang, C_s diijinkan dihitung menggunakan nilai sebesar 1,5 untuk S_s .

7.8.2 Periode Alami Fundamental

Periode struktur fundamental, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari **Tabel 7.8-1** dan perioda fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan dari **Persamaan 7.8-6**. Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai dengan **Pasal 7.8.2.1**.

7.8.2.1 Periode Fundamental Pendekatan.

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (7.8-6)$$

di mana h_n adalah ketinggian struktur, dalam m, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari **Tabel 7.8-2**.

TABEL 7.8-1 KOEFISIEN UNTUK BATAS ATAS PADA PERIODA YANG DIHITUNG

Parameter Percepatan Respons Spektral Disain 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 7.8-2 NILAI PARAMETER PERIODA PENDEKATAN C_t DAN x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik 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 ^a	0,8
Rangka beton 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 sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

^aEkivalensi metrik ditunjukkan dalam tanda kurung.

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya seismik terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N \quad (7.8-7)$$

di mana N = jumlah tingkat.

Perioda fundamental pendekatan, T_a , dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari Persamaan 7.8-8 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (7.8-8)$$

di mana h_n didefinisikan dalam teks terdahulu dan C_w dihitung dari **Persamaan 7.8-9** sebagai berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (7.8-9)$$

di mana

A_B = luas dasar struktur, m²

A_i = luas badan dinding geser “ i ” dalam m²

D_i = panjang dinding geser “ i ” dalam m

h_i = tinggi dinding geser “ i ” dalam m

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

7.8.3 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (7.8-10)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (7.8-11)$$

di mana

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal,
- V = gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur (kN)
- w_i and w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada Tingkat i atau x
- h_i and h_x = tinggi (m) dari dasar sampai Tingkat i atau x
- k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
 - untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
 - untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
 - untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

7.8.4 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat disain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (7.8-12)$$

di mana F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) (kN) yang timbul di Tingkat i .

Geser tingkat disain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

7.8.4.1 Torsi Bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, M_t , yang dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

7.8.4.2 Torsi Tak Terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, disain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) (kN) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) (kN) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5 persen dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5 persen yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah orthogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

7.8.4.3 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

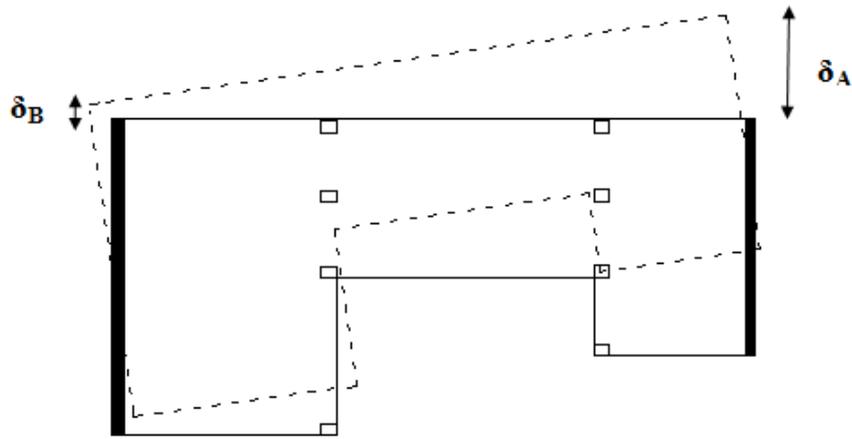
Struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C, D, E, atau F, di mana Tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi seperti didefinisikan dalam **Tabel 7.3-1** harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam **Gambar 7.8-1** dan ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad (7.8-13)$$

di mana

- δ_{\max} = perpindahan maksimum di Tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$
- δ_{avg} = rata-rata perpindahan di titik terjauh struktur di Tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak disyaratkan melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk disain.



$$\delta_{\text{rata-rata}} = \frac{\delta A + \delta B}{2} \quad A_x = \left[\frac{\delta_{\text{maksimum}}}{1.2 (\delta_{\text{rata-rata}})} \right]^2$$

Gambar 7.8-1 Faktor Pembesaran Torsi, A_x

7.8.5 Guling

Struktur harus didisain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan oleh gaya seismik yang ditentukan dalam **Pasal 7.8.3**.

7.8.6 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Lihat **Gambar 7.8-2**. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika disain tegangan ijin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik tingkat kekuatan yang ditetapkan dalam **Pasal 7.8** tanpa reduksi untuk disain tegangan ijin.

Bagi struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada **Tabel 7.3-1**, simpangan antar lantai disain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di Tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (7.8-14)$$

di mana

- C_d = faktor pembesaran defleksi dalam **Tabel 7.2-1**
- δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis
- I_e = faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 4.1.2**

7.8.6.1 Geser Dasar Minimum untuk Menghitung Simpangan Antar Lantai

Analisis elastik sistem penahan gaya seismik untuk perhitungan simpangan antar lantai harus dilakukan dengan menggunakan gaya seismik disain sesuai **Pasal 7.8**.

PENGECEUALIAN: Persamaan **7.8-4** tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar lantai.

7.8.6.2 Nilai Perioda untuk Menghitung Simpangan Antar Lantai

Untuk menentukan kesesuaian dengan batasan simpangan antar lantai tingkat **Pasal 7.12.1**, diijinkan untuk menentukan simpangan antar lantai elastis, (δ_{xe}), menggunakan gaya disain seismik berdasarkan pada perioda fundamental struktur yang dihitung tanpa batasan atas ($C_u T_d$) yang ditetapkan dalam **Pasal 7.8.2**.

7.8.7 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10 :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (7.8-15)$$

di mana

P_x = beban disain vertikal total pada dan di atas Tingkat x (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = simpangan antar lantai tingkat disain seperti didefinisikan dalam **Pasal 7.8.6**, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 4.1.2**

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara Tingkat x dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah Tingkat x (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi dalam **Tabel 7.2-1**

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{\max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (7.8-16)$$

di mana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x - 1$. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya elemen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya elemen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$.

Jika θ lebih besar dari θ_{\max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didisain ulang.

Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, **Persamaan 7.8-16** masih harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang dihitung dari **Persamaan 7.8-15** menggunakan hasil analisis P-delta diijinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan **Persamaan 7.8-16**.

7.9. Analisis Spektrum Respons Ragam

7.9.1 Jumlah Ragam

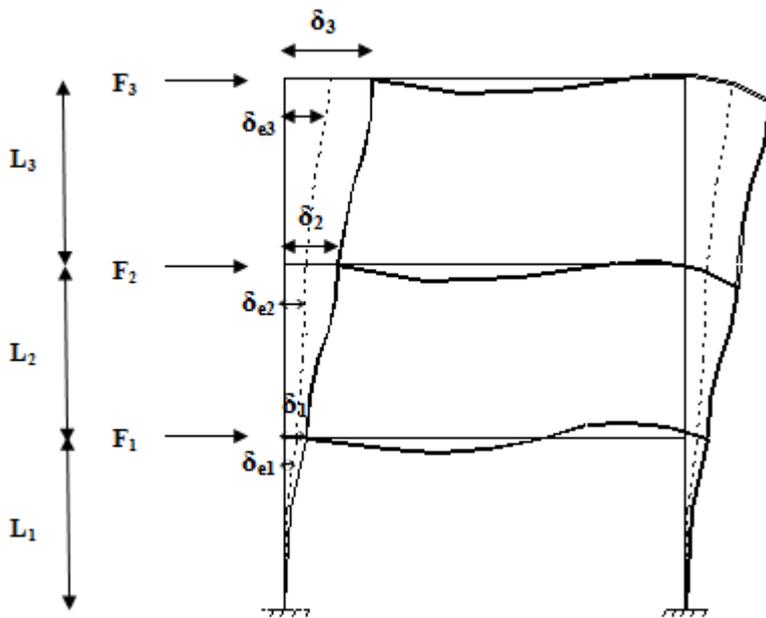
Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

7.9.2 Parameter Respons Ragam

Nilai untuk masing-masing parameter disain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam **Bab 6 atau Pasal 15.2** dibagi dengan kuantitas (R/I). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I).

7.9.3 Parameter Respons Terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metoda akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metoda kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metoda CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam berjarak dekat mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.



Tingkat 3

F_3 = gaya gempa disain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan

$\delta_3 = C_d \delta_{e3} / I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_E \leq \Delta_a$ (Tabel 7.12-1)

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa disain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan

$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_E \leq \Delta_a$ (Tabel 7.12-1)

Tingkat 1

F_1 = gaya gempa disain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan

$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I_E =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$ (Tabel 7.12-1)

Δ_i = Simpangan Antar Lantai

Δ_i / L_i = Rasio Simpangan Antar Lantai

δ_3 = Perpindahan Total

Gambar 7.8-2 Penentuan Simpangan Antar Lantai

7.9.4 Skala Nilai Disain untuk Respons Terkombinasi

Geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horisontal ortogonal menggunakan perioda fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur Pasal 7.8.

7.9.4.1 Skala Gaya

Bila perioda fundamental yang dihitung melebihi $(C_u)(T_a)$, maka $(C_u)(T_a)$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0.85V/V_t$

V = geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen, yang dihitung sesuai dengan pasal ini dan Pasal 7.8,

V_t = geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan

7.9.4.2 Skala Simpangan Antar Lantai

Jika respons terkombinasi untuk geser dasar ragam (V_t) kurang dari 85 persen dari $C_s W$, di mana C_s diperoleh dari persamaan 7.8-6, simpangan antar lantai harus dikalikan dengan $0.85(C_s W / V_t)$:

7.9.5 Distribusi Geser Horisontal

Distribusi geser horisontal harus sesuai dengan persyaratan Pasal 7.8.4, kecuali bahwa pembesaran torsi menurut Pasal 7.8.4.3, tidak disyaratkan bila pengaruh torsi tak terduga disertakan dalam model analisis dinamis.

7.9.6 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta harus ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.7. Geser dasar yang digunakan untuk menentukan geser tingkat dan simpangan antar lantai tingkat harus ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.6.

7.9.7 Reduksi Interaksi Tanah Struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diijinkan bila ditentukan menggunakan Bab 13 atau prosedur lainnya yang diterima secara umum yang disetujui oleh pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum.

7.10. Diafragma, Kord, dan Kolektor

7.10.1 Disain Diafragma

Diafragma harus didisain untuk kedua tegangan geser dan lentur yang dihasilkan dari gaya disain. Pada diskontinuitas diafragma, seperti bukaan dan sudut dalam, disain harus menjamin bahwa disipasi transfer gaya tepi (kord) terkombinasi dengan gaya lainnya dalam diafragma adalah dalam lingkup kapasitas geser dan tarik diafragma.

7.10.1.1 Disain Diafragma

Diafragma lantai dan atap harus didisain untuk menahan gaya seismik disain dari analisis struktur, tetapi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sesuai dengan **Persamaan 7.10-1** sebagai berikut :

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (7.10-1)$$

di mana

- F_{px} = gaya disain diafragma
- F_i = gaya disain yang diterapkan di Tingkat i
- w_i = tributari berat sampai Tingkat i
- w_{px} = tributari berat sampai diafragma di Tingkat x

Gaya yang ditentukan dari Persamaan 7.10-1 tidak boleh kurang dari :

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (7.10-2)$$

dan tidak boleh melebihi :

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} I_e W_{px} \quad (7.10-3)$$

Jika diafragma disyaratkan untuk menyalurkan gaya seismik disain dari elemen penahan vertikal di atas diafragma sampai elemen penahan vertikal lainnya di bawah diafragma akibat pergeseran dalam penempatan elemen atau untuk mengubah kekakuan lateral relatif pada elemen vertikal, gaya ini harus ditambahkan pada gaya yang ditentukan dari **Persamaan 7.10-1**. Faktor redundansi, ρ , berlaku pada disain diafragma pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F. Untuk gaya inersia yang dihitung sesuai dengan **Persamaan 7.10-1**, faktor redundansi harus sama dengan 1,0. Untuk gaya transfer, faktor redundansi, ρ , harus sama seperti yang digunakan untuk struktur. Untuk struktur yang mempunyai tipe ketidakaturan struktur horisontal atau vertikal yang ditunjukkan dalam **Pasal 7.3.3.4**, persyaratan penampang tersebut juga harus berlaku.

7.10.2 Elemen Kolektor

Elemen kolektor harus disediakan yang mampu menyalurkan gaya seismik yang berasal dari bagian lain struktur ke elemen yang menyediakan tahanan terhadap gaya tersebut.

7.10.2.1 Elemen-Elemen Kolektor yang Memerlukan Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat Lebih untuk Kategori Disain Seismik C hingga F

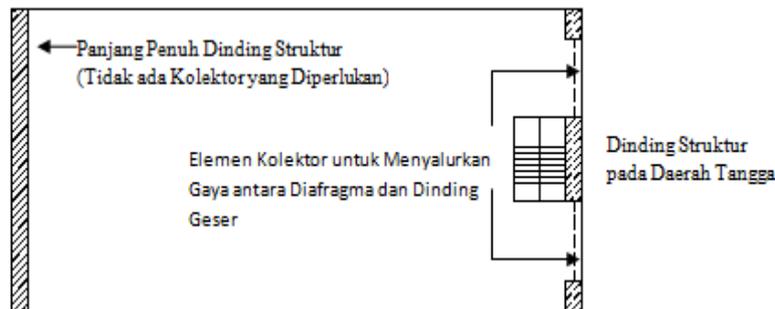
Pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C, D, E, atau F, elemen-elemen kolektor (lihat **Gambar 7.10-1**) dan sambungan-sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke komponen vertikal harus didisain untuk menahan nilai maksimum diantara nilai-nilai berikut:

1. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban seismik, termasuk faktor kuat lebih (**Pasal 7.4.3**) dengan gaya-gaya seismik ditetapkan berdasarkan prosedur Gaya Lateral Ekuivalen (**Pasal 7.8**) atau prosedur analisis spektrum respons ragam (**Pasal 7.9**)
2. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban seismik, termasuk faktor kuat lebih **Pasal 7.4.3** dengan gaya-gaya seismik ditetapkan berdasarkan **Persamaan 7.10-1**.
3. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban **Pasal 7.4.2.3**, dengan gaya seismik ditetapkan oleh **Persamaan 7.10-2**.

Gaya-gaya transfer, sebagaimana dijelaskan dalam **Pasal 7.10.1.1**, harus ditinjau.

PENGECUALIAN:

1. Gaya-gaya yang dihitung di atas tidak perlu melebihi gaya-gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban **Pasal 7.4.2.3**, dengan gaya seismik ditetapkan berdasarkan **Persamaan 7.10-3**.
2. Pada struktur atau bagiannya yang dibres secara keseluruhan dengan dinding geser portal ringan, elemen-elemen kolektor beserta sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen-elemen vertikal hanya perlu didisain untuk menahan kombinasi beban sesuai **7.4.2.3**, dengan gaya-gaya seismik ditetapkan berdasarkan **Pasal 7.10.1.1**.



Gambar 7.10-1 Kolektor

7.11. Dinding Struktural dan Pengangkurannya

7.11.1 Disain untuk Gaya Melintang Bidang

Dinding struktural dan pengangkurannya harus didisain untuk gaya tegak lurus terhadap permukaan sebesar $F_p = 0,4S_{DS}I$ kali berat dinding struktural dengan gaya minimum sebesar 10 persen berat dinding struktural. Interkoneksi elemen dinding struktural dan sambungan pada sistem rangka pendukung harus mempunyai daktilitas yang cukup, kapasitas rotasi, atau kekuatan yang cukup untuk menahan susut, perubahan suhu, dan perbedaan penurunan fondasi bila dikombinasikan dengan gaya seismik.

7.11.2 Pengangkur Dinding Struktural dan Penyaluran Gaya pada Diafragma

7.11.2.1 Gaya Pengangkur Dinding

Pengangkur dinding struktural pada konstruksi pendukung harus dapat menyediakan suatu sambungan langsung yang mampu menahan gaya rencana berikut:

$$F_p = 0,4S_{DS}k_a I_e W_p \quad (7.11-1)$$

F_p tidak boleh diambil kurang dari $0,2k_a I_e W_p$.

$$k_a = 1,0 + \frac{L_f}{30} \quad (7.11-2)$$

k_a tidak perlu diambil lebih besar dari 2,0.

di mana:

F_p = gaya disain pada angkur-angkur individu

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral disain pada periode pendek menurut **Pasal 6.9.4**

I_e = faktor keutamaan menurut **Pasal 4.1.2**

k_a = faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma

L_f = bentangan diafragma fleksibel (dalam m) yang memberikan tumpuan lateral pada dinding; bentangan tersebut diukur antara elemen-elemen vertikal yang menyediakan tumpuan lateral terhadap diafragma tersebut pada arah yang ditinjau. Nilai $L_f = 0$ untuk diafragma kaku.

W_p = berat dinding sesuai luasan tributari angkur

Bila angkur tidak terletak di atas dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari **Persamaan 7.11-1** diijinkan untuk dikalikan dengan faktor $(1+2z/h)/3$, di mana z adalah tinggi angkur di atas dasar struktur dan h adalah tinggi atap di atas dasar.

Dinding struktural harus didisain untuk menahan lentur antara angkur-angkur bila spasi angkur melebihi 1200 mm.

7.11.2.2 Persyaratan Tambahan untuk Diafragma pada Struktur yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik C sampai F

7.11.2.2.1 Penyaluran Gaya Pengangkuran ke dalam Diafragma

Diafragma harus disediakan dengan pengikat atau strut menerus antara kord diafragma untuk mendistribusikan gaya pengangkuran ini dalam diafragma. Sambungan diafragma harus positif, mekanis, atau dilas. Kord tambahan diijinkan untuk digunakan untuk membentuk subdiafragma untuk mentransmisikan gaya pengangkuran ke pengikat silang menerus utama. Rasio panjang-terhadap-lebar maksimum subdiafragma struktur harus sebesar 2,5 sampai 1. Sambungan dan pengangkuran mampu menahan gaya yang ditetapkan harus disediakan antara diafragma dan komponen yang terhubung. Sambungan harus menerus ke dalam diafragma dengan jarak yang cukup untuk membentuk gaya yang disalurkan ke dalam diafragma.

7.11.2.2.2 Elemen Baja Dari Sistem Pengangkuran Dinding Struktur

Gaya disain kekuatan untuk elemen baja dari sistem pengangkuran dinding struktur, dengan pengecualian baut angkur dan baja tulangan, harus ditingkatkan dengan 1,4 kali gaya yang selain itu-disyaratkan oleh pasal ini.

7.11.2.2.3 Diafragma Kayu

Pada diafragma kayu, pengikat menerus harus diadakan sebagai tambahan pada pembungkus diafragma. Pengangkuran tidak boleh diselesaikan dengan penggunaan paku miring (*toenails*) atau paku yang akan dicabut baik pada papan kayu atau rangka yang digunakan pada lentur melintang serat atau tarik melintang serat. Pembungkus diafragma tidak boleh dianggap efektif bila penyediaan pengikat atau strat disyaratkan oleh pasal ini.

7.11.2.2.4 Diafragma Dek Metal

Pada diafragma dek metal, dek metal tidak boleh digunakan sebagai pengikat menerus yang disyaratkan oleh pasal ini dalam arah tegak lurus pada bentang dek.

7.11.2.2.5 Strip Tertanam

Diafragma pada pengangkuran dinding struktur menggunakan strip tertanam harus dihubungkan dengan, atau dikait melingkari, baja tulangan atau selain itu dihentikan agar secara efektif menyalurkan gaya ke baja tulangan.

7.11.2.2.6 Sistem Pengangkuran Dibebani Eksentris

Jika elemen sistem pengangkuran dinding dibebani eksentris atau tidak tegak lurus pada dinding, sistem tersebut harus didisain untuk menahan semua komponen gaya yang ditimbulkan oleh eksentrisitas.

7.11.2.2.7 Dinding dengan Pilaster.

Jika pilaster ada pada dinding, gaya pengangkuran di pilaster harus dihitung dengan meninjau beban tambahan yang disalurkan dari panel dinding ke pilaster. Namun, gaya pengangkuran minimum di lantai atau atap tidak boleh direduksi.

7.12. Simpangan Antar Lantai dan Deformasi

7.12.1 Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat

Simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) seperti ditentukan dalam **Pasal 7.8.6, 7.9.2, atau 12.1**, tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti didapatkan dari **Tabel 7.12-1** untuk semua tingkat..

TABEL 7.12-1 SIMPANGAN ANTAR LANTAI IJIN, $\Delta_a^{a,b}$

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

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah Tingkat x.

^b Untuk sistem penahan gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam Kategori Disain Seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.12.1.1**.

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didisain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dari **Pasal 7.12.3** tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didisain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

7.12.1.1 Rangka Pemikul Momen pada Struktur Yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Untuk sistem penahan gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_d/ρ untuk semua tingkat. ρ harus ditentukan sesuai dengan **Pasal 7.3.4.2**.

7.12.2 Defleksi Diafragma

Defleksi pada bidang diafragma, seperti ditentukan dengan analisis rekayasa, tidak boleh melebihi defleksi ijin elemen yang terhubung. Defleksi ijin harus merupakan defleksi yang akan mengijinkan elemen yang terhubung untuk mempertahankan integritas strukturnya akibat pembebanan individu dan terus mendukung beban yang ditetapkan.

7.12.3 Pemisahan Struktur Bangunan

Semua bagian struktur harus didisain dan dibangun untuk bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya seismik kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak.

Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum (δ_M). δ_M harus dihitung pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur, termasuk pembesaran torsi (bila ada), dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\delta_M = \frac{C_d \cdot \delta_{\max}}{I_e} \quad (7.12-1)$$

di mana δ_{\max} = Perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar δ_{MT} , yang dihitung dari persamaan dibawah ini:

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (7.12-2)$$

di mana δ_{M1} dan δ_{M2} adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

Struktur bangunan harus diposisikan berjarak paling tidak sejauh δ_M dari garis batas kepemilikan tanah.

PENGECEUALIAN : Jarak pemisahan yang lebih kecil diijinkan jika hal ini dapat dibuktikan oleh analisis yang rasional berdasarkan respons inelastik terhadap gerak tanah rencana akibat gempa.

7.12.4 Komponen-Komponen yang Membentang Antar Struktur

Sambungan gravitasi atau tumpuan untuk komponen-komponen yang membentang antara struktur-struktur bangunan atau antara bagian-bagian struktur yang dipisah secara seismik harus didisain terhadap perpindahan relatif maksimum yang mungkin terjadi. Nilai-nilai perpindahan berikut ini harus dihitung, yaitu:

1. Menggunakan nilai defleksi yang dihitung di lokasi-lokasi tumpuan, yaitu berdasarkan **Persamaan 7.8-5** yang dikalikan dengan $1,5R/C_d$, dan,
2. Meninjau defleksi tambahan akibat rotasi diafragma, termasuk faktor pembesaran torsi yang dihitung berdasarkan **Pasal 7.8.4.3**, bila struktur memiliki ketidakberaturan torsi, dan,
3. Mempertimbangkan deformasi diafragma, dan,
4. Mengasumsikan kedua struktur bangunan bergerak ke arah-arrah yang saling berlawanan dan defleksi yang dihasilkan masing-masing struktur bangunan kemudian dijumlahkan secara absolut.

7.12.5 Kompatibilitas Deformasi untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F, setiap elemen struktur yang tidak termasuk dalam sistim penahan gaya seismik dalam arah yang ditinjau harus didisain agar cukup untuk memikul pengaruh beban gravitasi dan gaya seismik yang dihasilkan dari perpindahan terhadap simpangan antar lantai tingkat disain (Δ) seperti yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 7.8.6** (lihat juga **Pasal 7.12.1**).

PENGECUALIAN: Elemen struktur rangka beton bertulang yang tidak didisain sebagai bagian dari sistem penahan gaya seismik harus sesuai dengan Pasal 23.9 dari SNI 03-2847-2002.

Jika menentukan momen dan geser yang timbul pada komponen yang tidak termasuk dalam sistem penahan gaya seismik dalam arah yang ditinjau, pengaruh kekakuan elemen struktur dan nonstruktur kaku yang terhubung harus diperhitungkan dan nilai elemen struktur dan kekakuan kekangan yang rasional harus digunakan.

7.13. Disain Fondasi

7.13.1 Dasar Disain

Dasar disain untuk fondasi harus seperti yang ditentukan selanjutnya dalam **Pasal 7.1.5**.

7.13.2 Material Konstruksi

Material yang digunakan untuk disain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.14**. Disain dan pendetailan tiang baja harus sesuai dengan **Pasal 7.14.1**. Disain dan pendetailan tiang beton harus sesuai dengan **Pasal 7.14.2**.

7.13.3 Karakteristik Beban-Deformasi Fondasi

Jika fleksibilitas fondasi disertakan untuk prosedur analisis linier dalam **Bab 7 dan Bab 11**, karakteristik beban-deformasi sistem fondasi-tanah (kekakuan fondasi) harus dimodelkan sesuai dengan persyaratan pasal ini. Perilaku beban-deformasi linier fondasi harus diwakili oleh kekakuan linier ekuivalen menggunakan properti tanah yang kompatibel dengan tingkat regangan tanah yang berkaitan dengan gerakan gempa disain. Modulus geser yang kompatibel regangannya, G , dan kecepatan gelombang yang kompatibel regangannya yang terkait, v_s , yang diperlukan untuk evaluasi kekakuan linier ekuivalen harus ditentukan menggunakan kriteria dalam **Pasal 13.2.1.1** atau didasarkan pada studi yang spesifik terhadap lapangan. Peningkatan 50 persen dan penurunan kekakuan harus dimasukkan dalam analisis dinamis kecuali jika variasi yang lebih kecil dapat dibenarkan berdasarkan pada pengukuran lapangan properti tanah dinamis atau pengukuran langsung kekakuan fondasi dinamis. Nilai respons terbesar harus digunakan dalam disain.

7.13.4 Reduksi Penggulingan Fondasi

Pengaruh penggulingan di muka-kontak tanah-fondasi diijinkan untuk direduksi sebesar 25 persen untuk fondasi struktur yang memenuhi kedua kondisi berikut:

- Struktur didisain sesuai dengan Analisis Gaya Lateral Ekuivalen seperti ditentukan selanjutnya dalam **Pasal 7.8**,
- Struktur bukan merupakan bandul terbalik atau struktur tipe kolom kantilever.

Pengaruh penggulingan di muka-kontak tanah-fondasi diijinkan untuk direduksi dengan 10 persen untuk fondasi struktur yang didisain sesuai dengan persyaratan analisis ragam dari **Pasal 7.9**.

7.13.5 Persyaratan untuk Struktur Yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik C

Sebagai tambahan pada persyaratan dari **Bab 6** persyaratan disain fondasi berikut harus diterapkan pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C.

7.13.5.1 Struktur Tipe Tiang

Jika konstruksi menggunakan papan atau tiang sebagai kolom yang dibenamkan dalam tanah atau dibenamkan dalam fondasi telapak beton dalam tanah, digunakan untuk menahan beban lateral, kedalaman pembenaman yang disyaratkan untuk papan atau tiang untuk menahan gaya seismik harus ditentukan melalui kriteria disain yang disusun dalam laporan investigasi fondasi.

7.13.5.2 Pengikat Fondasi

Pur (*pile-cap*) tiang individu, pier bor, atau kaisan harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan disain paling sedikit sama dengan gaya yang sama dengan 10 persen S_{DS} kali beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pur tiang atau kolom yang lebih besar kecuali jika ditunjukkan bahwa kekangan ekuivalen akan disediakan oleh balok beton bertulang dalam pelat di atas tanah atau pelat beton

bertulang di atas tanah atau pengekangan oleh batu yang memenuhi syarat, tanah kohesif keras, tanah berbutir sangat padat, atau cara lain yang disetujui.

7.13.5.3 Persyaratan Pengangkuran Tiang

Sebagai tambahan pada persyaratan dari **Pasal 7.14.2.1.1**, pengangkuran tiang harus sesuai dengan pasal ini. Jika disyaratkan untuk tahanan terhadap gaya ke atas, pengangkuran pipa baja (penampang HSS bulat), pipa baja berisi beton atau tiang H pada pur tiang harus dibuat dengan cara selain dari lekatan beton pada penampang baja.

PENGECEUALIAN: Pengangkuran tiang pipa baja berisi beton diijinkan dicapai dengan menggunakan batang ulir yang disalurkan ke dalam bagian beton dari tiang.

7.13.6 Persyaratan untuk Struktur Yang Dirancang Untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Sebagai tambahan pada persyaratan **Pasal 6.7.2**, **Pasal 6.7.3**, **Pasal 7.14.1**, dan **Pasal 7.14.2**, persyaratan disain fondasi berikut harus diterapkan pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F. Disain dan konstruksi komponen fondasi beton harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002, Pasal 23.8, kecuali seperti dimodifikasi oleh persyaratan pasal ini.

PENGECEUALIAN: Hunian satu dan dua keluarga terpisah dari konstruksi rangka ringan dengan tinggi tidak melebihi dua tingkat di atas tanah hanya perlu sesuai dengan persyaratan untuk **Pasal 6.7.2**, **Pasal 6.7.3 (Butir 2 dan 4)**; **Pasal 7.13.2**, dan **Pasal 7.13.5**.

7.13.6.1 Struktur Tipe Tiang

Jika konstruksi menggunakan papan atau tiang sebagai kolom yang dibenamkan dalam tanah atau dibenamkan dalam fondasi telapak beton dalam tanah digunakan untuk menahan beban lateral, kedalaman pembenaman yang disyaratkan untuk papan atau tiang untuk menahan gaya seismik harus ditentukan melalui kriteria disain yang disusun dalam laporan investigasi fondasi.

7.13.6.2 Pengikat Fondasi

Pur (*pile-cap*) tiang individu, pier bor, atau kaisan harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Sebagai tambahan, fondasi individu yang menyebar yang terletak pada tanah yang didefinisikan dalam **Bab 5** sebagai Kelas Situs SE atau SF harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan disain paling sedikit sama dengan gaya yang sama dengan 10 persen S_{DS} kali beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pur tiang atau kolom yang lebih besar kecuali jika ditunjukkan bahwa kekangan ekuivalen akan disediakan oleh balok beton bertulang dalam pelat di atas tanah atau pelat beton bertulang di atas tanah atau pengekangan oleh batu yang memenuhi syarat, tanah kohesif keras, tanah berbutir sangat padat, atau cara lainnya yang disetujui.

7.13.6.3 Persyaratan Umum Disain Tiang

Tiang harus didisain dan dibangun untuk menahan deformasi dari pergerakan tanah akibat gempa dan respons struktur. Deformasi harus menyertakan baik regangan tanah lahan bebas (tanpa struktur) dan deformasi yang ditimbulkan oleh tahanan tiang lateral terhadap gaya seismik struktur, semua seperti yang dimodifikasi oleh interaksi tanah-tiang.

7.13.6.4 Tiang Miring

Tiang miring dan sambungannya harus mampu menahan gaya dan momen dari kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih dari **Pasal 7.4.3.2** atau **Pasal 8.3.2.2**. Jika tiang vertikal dan miring bekerja sama untuk menahan gaya fondasi sebagai kelompok, gaya ini harus didistribusikan pada tiang individu sesuai dengan kekakuan horisontal dan vertikal relatifnya dan distribusi geometri tiang dalam kelompok.

7.13.6.5 Persyaratan Pengangkuran Tiang

Sebagai tambahan pada persyaratan **Pasal 7.13.5.3**, pengangkuran tiang harus sesuai dengan pasal ini. Disain pengangkuran tiang ke dalam pur (*pile-cap*) tiang harus memperhitungkan pengaruh gaya aksial terkombinasi akibat gaya ke atas dan momen lentur akibat penjepitan pada pur (*pile-cap*) tiang. Untuk tiang yang disyaratkan untuk menahan gaya ke atas atau menyediakan kekangan rotasi, pengangkuran ke dalam pur (*pile-cap*) tiang harus memenuhi hal berikut ini:

1. Dalam kasus gaya ke atas, pengangkuran harus mampu mengembangkan kekuatan sebesar yang terkecil di antara kuat tarik nominal tulangan longitudinal dalam tiang beton, atau kuat tarik nominal tiang baja, atau 1,3 kali tahanan cabut tiang, atau gaya tarik aksial yang dihasilkan dari pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih berdasarkan **Pasal 7.4.3** atau **Pasal 8.3.2**. Tahanan cabut tiang harus diambil sebagai gaya friksi atau lekatan ultimat yang dapat disalurkan antara tanah dan tiang ditambah dengan berat tiang dan pur.

2. Dalam kasus kekangan rotasi, pengangkuran harus didisain untuk menahan gaya aksial dan geser dan momen yang dihasilkan dari pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih dari **Pasal 7.4.3 atau Pasal 8.3.2**, atau harus mampu mengembangkan kuat nominal aksial, lentur, dan geser penuh dari tiang.

7.13.6.6 Sambungan Lewatan Bagian Tiang

Sambungan lewatan pada tiang fondasi harus mampu mengembangkan kuat nominal penampang tiang.

PENGECUALIAN: Sambungan lewatan harus didisain untuk menahan gaya-gaya aksial dan geser serta momen lentur dari pengaruh beban seismik, termasuk faktor kuat-lebih berdasarkan **Pasal 7.4.3 atau 8.3.2**.

7.13.6.7 Interaksi Tiang-Tanah

Momen, geser, dan defleksi lateral tiang yang digunakan untuk disain harus ditentukan dengan meninjau interaksi tiang dan tanah. Jika rasio kedalaman pembenaman tiang terhadap diameter atau lebar tiang kurang dari atau sama dengan 6 (enam), tiang diijinkan untuk diasumsikan kaku secara lentur terhadap tanahnya.

7.13.6.8 Pengaruh Kelompok Tiang

Pengaruh kelompok tiang dari tanah pada kuat nominal tiang lateral harus disertakan bila jarak antar pusat-ke-pusat tiang dalam arah gaya lateral kurang dari delapan diameter atau lebar tiang. Pengaruh kelompok tiang terhadap kuat nominal vertikal harus disertakan bila jarak antar pusat-ke-pusat tiang kurang dari tiga kali diameter atau lebar tiang.

7.14. Persyaratan Perancangan dan Pendetailan Bahan

7.14.1 Persyaratan Pendetailan Tambahan untuk Tiang Baja dalam Kategori Disain Seismik D sampai F

Sebagai tambahan pada persyaratan fondasi yang ditetapkan di awal dalam **Pasal 7.1.5 dan 7.13**, perancangan dan pendetailan tiang H harus memenuhi persyaratan yang berlaku, dan sambungan antara penutup tiang dan tiang baja atau tiang pipa baja tak berisi dalam struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F harus dirancang untuk gaya tarik tidak kurang dari 10 persen kapasitas tekan tiang.

PENGECUALIAN: Kapasitas tarik sambungan tidak perlu melebihi kuat yang diperlukan untuk menahan pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat lebih **Pasal 7.4.3.2** atau **Pasal 8.2.2.2**. Sambungan tidak perlu disediakan jika fondasi atau struktur pendukung tidak tergantung pada kapasitas tarik pile untuk stabilitas di bawah gaya gempa rencana.

7.14.2 Persyaratan Pendetailan Tambahan untuk Tiang Beton

7.14.2.1 Persyaratan Tiang Beton untuk Kategori Disain Seismik C

Tiang beton pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik C harus memenuhi persyaratan pasal ini.

7.14.2.1.1 Pengangkuran Tiang

Semua tiang beton dan tiang pipa terisi beton harus dihubungkan dengan penutup tiang dengan menanam tulangan pipa dalam penutup tiang dengan jarak sama dengan panjang penyaluran seperti ditetapkan dalam **Butir 7.14.2.2** standar ini atau oleh penggunaan pasak yang dipasang di lapangan yang diangkur dalam tiang beton. Untuk batang tulangan ulir, panjang penyaluran adalah panjang penyaluran penuh untuk tekan atau tarik, dalam kasus gaya angkat, tanpa reduksi panjang untuk daerah yang terpengaruh.

Sengkang, atau spiral, dan pengikat harus dihentikan dengan kait gempa seperti didefinisikan dalam ketentuan umum peraturan konstruksi beton. Bila panjang minimum untuk tulangan atau penerusan tulangan pengekangan berspasi rapat disyaratkan di ujung atas tiang, harus dibuat ketentuan agar panjang yang ditetapkan atau penerusan tersebut dipertahankan setelah pemotongan tiang.

7.14.2.1.2 Tulangan untuk Tiang Beton Tanpa Pembungkus (Kategori Disain Seismik C)

Tulangan harus disediakan bila disyaratkan oleh analisis. Untuk tiang beton bor cor setempat tanpa pembungkus, minimum empat batang tulangan longitudinal, dengan rasio tulangan longitudinal minimum sebesar 0.0025, dan tulangan transversal, seperti didefinisikan di bawah, harus disediakan sepanjang panjang minimum tiang yang ditulangi seperti didefinisikan di bawah mulai dari ujung atas tiang. Tulangan longitudinal harus menerus melewati panjang minimum tiang yang ditulangi dengan panjang penyaluran tarik. Tulangan transversal harus mengandung pengikat tertutup (atau spiral ekuivalen) dengan diameter minimum 9 mm. Spasi penulangan transversal harus tidak melebihi 150 mm atau 8 diameter batang tulangan longitudinal dalam jarak tiga kali diameter tiang dari ujung bawah penutup tiang. Spasi penulangan transversal harus tidak melebihi 16 diameter batang tulangan longitudinal sepanjang sisa panjang minimum yang ditulangi.

Panjang tiang minimum yang ditulangi harus diambil sebagai yang lebih besar dari

1. Sepertiga panjang tiang.
2. Jarak sebesar 3 m.
3. Tiga kali diameter tiang.
4. Panjang lentur tiang, yang harus diambil sama dengan panjang dari ujung bawah pur tiang sampai suatu titik di mana momen retak penampang beton dikalikan dengan faktor tahanan 0.4 melebihi momen terfaktor perlu di titik tersebut.

7.14.2.1.3 Tulangan untuk Tiang Beton dengan Pembungkus Logam (Kategori Disain Seismik S C)

Persyaratan tulangan adalah sama seperti untuk tiang beton tanpa pembungkus.

PENGECEUALIAN: Pembungkus logam yang dilas spiral dengan ketebalan tidak kurang dari diameter No. 14 dapat dipertimbangkan sebagai tersedianya pengekangan beton ekivalen dengan pengikat tertutup atau spiral ekivalen yang disyaratkan pada tiang beton tanpa pembungkus, asalkan pembungkus logam cukup dilindungi terhadap aksi yang mungkin merusak akibat bahan penyusun tanah, perubahan permukaan air, atau faktor lainnya yang ditunjukkan dengan catatan pengeboran dari kondisi lapangan.

7.14.2.1.4 Tulangan untuk Tiang Pipa Terisi Beton (Kategori Disain Seismik C)

Tulangan minimum 0.01 kali luasan penampang tiang beton harus disediakan pada ujung atas tiang dengan panjang sama dengan dua kali angkur penanaman penutup yang disyaratkan ke dalam penutup tiang.

7.14.2.1.5 Tulangan untuk Tiang Beton Nonprategang Pracetak (Kategori Disain Seismik C)

Rasio tulangan baja longitudinal minimum sebesar 0.01 harus disediakan untuk tiang beton nonprategang pracetak. Penulangan longitudinal harus dikekang dengan pengikat tertutup atau spiral ekivalen diameter minimum 10 mm. Penulangan pengekangan transversal harus disediakan dengan spasi maksimum delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil, tetapi tidak melebihi 152 mm, dalam tiga kali diameter tiang dari sisi bawah penutup tiang. Sisi luar daerah pengekangan, pengikat tertutup atau spiral ekivalen harus disediakan dengan spasi maksimum 16 kali diameter batang tulangan longitudinal, tetapi tidak lebih besar dari 200 mm. Tulangan harus sepanjang tiang.

7.14.2.1.6 Tulangan untuk Tiang Prategang Pracetak (Kategori Disain Seismik C)

Untuk ujung atas 6 m dari tiang prategang pracetak, rasio volumetrik minimum tulangan spiral harus tidak kurang dari 0.007 atau jumlah yang disyaratkan oleh persamaan berikut:

$$\rho_s = \frac{0.12 f'_c}{f_{yh}} \quad (7.14-1)$$

Di mana

ρ_s = rasio volumetrik (vol. spiral/vol. inti)

f'_c = kuat tekan beton yang ditetapkan, MPa

f_{yh} = kuat leleh tulangan spiral yang ditetapkan, di mana harus diambil tidak lebih besar dari 586 MPa

Minimum setengah rasio volumetrik tulangan spiral yang disyaratkan oleh **Persamaan 7.14-1** harus disediakan untuk panjang sisa tiang.

7.14.2.2 Persyaratan Tiang Beton untuk Kategori Disain Seismik D sampai F

Tiang beton pada struktur yang dirancang untuk Kategori Disain Seismik D, E, atau F harus memenuhi persyaratan pasal ini.

7.14.2.2.1 Kelas Situs Tanah SE atau SF

Bila tiang beton digunakan dalam Kelas Situs SE atau SF, tiang tersebut harus mempunyai tulangan transversal sesuai dengan standar yang berlaku dalam tujuh kali diameter tiang dari penutup tiang dan dari permukaan kontak antara lapisan yang keras atau kaku dan lapisan yang dapat mencair (*liquefiable*) atau tersusun dari lempung kaku lunak sampai menengah.

7.14.2.2.2 Tulangan untuk Tiang Beton Tanpa Pembungkus (Kategori Disain Seismik D sampai F)

Tulangan harus disediakan bila disyaratkan oleh analisis. Untuk tiang beton bor cor setempat tanpa pembungkus, minimum empat batang tulangan longitudinal dengan rasio tulangan longitudinal minimum 0.005 dan tulangan pengekangan transversal sesuai dengan standar yang berlaku harus disediakan sepanjang panjang tiang bertulangan minimum seperti didefinisikan di bawah mulai dari ujung atas tiang. Tulangan longitudinal harus menerus melewati

panjang tiang bertulangan minimum dengan panjang penyaluran tarik.

Panjang tiang bertulangan minimum harus diambil yang lebih besar dari

1. Setengah panjang tiang.
2. Sejarak 3 m.
3. Tiga kali diameter tiang
4. Panjang lentur tiang, di mana harus diambil

Sebagai panjang dari sisi bawah penutup tiang sampai suatu titik di mana momen retak penampang beton dikalikan dengan faktor tahanan 0,4 melebihi momen terfaktor perlu di titik tersebut.

Sebagai tambahan, untuk tiang yang berlokasi dalam Kelas Situs SE atau SF, tulangan longitudinal dan tulangan pengekangan transversal, seperti dijelaskan di atas, harus menerus sepanjang tiang.

Bila tulangan transversal disyaratkan, pengikat tulangan transversal harus minimum batang tulangan ulir D10 untuk tiang sampai dengan diameter 500 mm dan batang tulangan ulir D13 untuk tiang dengan diameter lebih besar.

Dalam Kelas Situs SA sampai SD, tulangan longitudinal dan tulangan pengekangan transversal, seperti didefinisikan di atas, juga harus menerus dengan minimum tujuh kali diameter tiang di atas dan di bawah permukaan kontak lapisan lempung kaku lunak sampai sedang atau lapisan yang dapat mencair (*liquefiable*) kecuali tulangan transversal tidak ditempatkan dalam panjang bertulangan minimum harus diijinkan untuk menggunakan rasio tulangan spiral transversal dengan tidak kurang dari setengah yang disyaratkan dalam standar yang berlaku. Spasi penulangan transversal yang tidak ditempatkan dalam panjang bertulangan minimum diijinkan untuk ditingkatkan, tetapi harus tidak melebihi dari yang terkecil dari berikut ini:

5. 12 diameter batang tulangan longitudinal.
6. Setengah diameter tiang.
7. 300 mm.

7.14.2.2.3 Tulangan untuk Tiang Beton dengan Pembungkus Logam (Kategori Disain Seismik D sampai F).

Persyaratan tulangan adalah sama seperti untuk tiang beton tanpa pembungkus logam.

PENGECEUALIAN: Pipa baja las spiral dengan tebal tidak kurang dari 2 mm dapat dianggap sebagai adanya pengekangan beton yang ekuivalen dengan pengikat tertutup atau spiral ekuivalen yang disyaratkan dalam tiang beton tanpa pembungkus, asalkan pembungkus logam cukup dilindungi terhadap kemungkinan aksi yang merusak akibat bahan penyusun tanah, perubahan permukaan air, atau faktor lainnya yang ditunjukkan oleh catatan kondisi lokasi pengeboran.

7.14.2.2.4 Tulangan untuk Tiang Beton Pracetak (Kategori Disain Seismik D sampai F)

Tulangan pengekangan transversal terdiri dari pengikat tertutup atau spiral ekuivalen harus disediakan sesuai dengan standar yang berlaku untuk panjang penuh tiang.

PENGECEUALIAN: Selain dari dalam Kelas Situs SE atau SF, tulangan pengekangan transversal yang ditetapkan harus disediakan dalam tiga kali diameter tiang di bawah sisi bawah penutup tiang, tetapi diijinkan untuk menggunakan rasio penulangan transversal tidak kurang dari setengah yang disyaratkan sepanjang sisa panjang tiang.

7.14.2.2.5 Tulangan untuk Tiang Prategang Pracetak (Kategori Disain Seismik D sampai F)

Sebagai tambahan pada persyaratan untuk Kategori Disain Seismik C, persyaratan berikut harus dipenuhi:

8. Bila panjang tiang total dalam tanah adalah 10,7 m atau kurang, daerah tiang yang daktail harus diambil sebagai panjang tiang keseluruhan. Bila panjang tiang melebihi 10,7 m, daerah tiang yang daktail harus diambil sebagai yang lebih besar dari 10,7 m atau jarak dari sisi bawah penutup tiang sampai titik kurvatur nol ditambah tiga kali dimensi tiang yang terkecil.
9. Dalam daerah tiang yang daktail, spasi pusat ke pusat spiral atau tulangan sengkang harus tidak melebihi seperlima dimensi tiang yang terkecil, enam kali diameter strand longitudinal, atau 200 mm, yang mana yang lebih kecil.
10. Tulangan spiral harus disambung dengan melewati satu belokan penuh, dengan pengelasan, atau dengan menggunakan sambungan mekanik. Bila tulangan spiral disambungkan melewati ujung spiral harus dihentikan dengan kait gempu sesuai dengan standar yang berlaku, kecuali bahwa bengkokannya harus tidak kurang dari 135°. Sambungan las dan sambungan mekanik harus memenuhi standar yang berlaku.
11. Bila tulangan transversal terdiri dari spiral atau sengkang bulat, rasio volumetrik tulangan transversal spiral dalam daerah tiang yang daktail harus memenuhi:

$$\rho_s = 0.25 \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1.0 \right) \left[0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g} \right]$$

tetapi tidak kurang dari

$$\rho_s = 0.12 \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g} \right]$$

dan ρ_s tidak boleh melebihi 0.021 di mana

- ρ_s = rasio volumetrik (vol. spiral/vol. inti) $f'_c \leq 41.4$ MPa
- f_{yh} = kuat leleh tulangan spiral ≤ 586 MPa
- A_g = luas penampang tiang, mm²
- A_{ch} = luas inti yang didefinisikan oleh diameter sisi luar spiral, mm²
- P = beban aksial pada tiang yang dihasilkan dari kombinasi beban 1.2D + 0.5L + 1.0E, lb (kN)

Jumlah tulangan spiral perlu diijinkan diperoleh dengan menyediakan spiral dalam dan luar.

12. Bila tulangan transversal terdiri dari sengkang persegi dan pengikat silang, luas penampang total tulangan transversal lateral dalam daerah yang daktail dengan spasi, s , dan tegak lurus terhadap dimensi, h_c , harus memenuhi

$$A_{sh} = 0.3sh_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1.0 \right) \left[0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g} \right]$$

tetapi tidak kurang dari

$$A_{sh} = 0.12sh_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[0.5 + \frac{1.4P}{f'_c A_g} \right]$$

di mana

- s = spasi tulangan transversal diukur sepanjang panjang tiang, mm
- h_c = dimensi penampang inti tiang diukur pusat ke pusat tulangan sengkang, mm
- $f_{yh} \leq 483$ MPa

Sengkang dan pengikat silang harus ekuivalen dengan batang tulangan ulir tidak kurang dari D10. Ujung sengkang persegi harus dihentikan di suatu sudut dengan kait gempu.

13. Di luar daerah tiang yang daktail, spiral atau tulangan sengkang dengan rasio volumetrik tidak kurang dari setengah yang disyaratkan untuk tulangan pengekangan transversal harus disediakan.

8. KRITERIA DISAIN STRUKTUR YANG DISEDERHANAKAN UNTUK DINDING PENUMPU ATAU SISTEM RANGKA BANGUNAN SEDERHANA

8.1. Umum

8.1.1 Prosedur Disain Penyederhanaan

Prosedur ini boleh digunakan sebagai pengganti dari prosedur analisis dalam **Bab 7** untuk analisis dan disain bangunan sederhana dengan sistem dinding penumpu atau rangka bangunan, yang memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam peraturan ini. Jika prosedur ini digunakan, kategori disain seismik harus ditentukan dari **Tabel 6.2-3** menggunakan nilai S_{DS} dari **Pasal 8.8.1**.

Prosedur disain penyederhanaan boleh digunakan jika ketentuan berikut dipenuhi:

1. Struktur harus memenuhi syarat untuk Kategori Risiko I atau II sesuai dengan **Tabel 4.1-1**.
2. Kelas situs, yang didefinisikan dalam **Bab 5**, tidak termasuk Kelas Situs SE atau SF.
3. Struktur tidak boleh lebih dari tiga tingkat di atas tanah.

4. Sistem penahan gaya gempa adalah sistem dinding penumpu atau sistem rangka bangunan, seperti ditunjukkan dalam **Tabel 8-1**.
5. Struktur harus mempunyai paling sedikit dua baris tahanan lateral dalam masing-masing dua arah sumbu utama.
6. Struktur harus memiliki paling sedikit satu baris tahanan lateral pada setiap sisi pusat massa pada masing-masing arah.
7. Untuk struktur dengan diafragma fleksibel, tonjolan melebihi baris luar dinding geser atau rangka dengan bresing harus memenuhi ketentuan berikut ini :

$$a \leq d/5 \quad (8-1)$$

di mana

a = jarak tegak lurus terhadap gaya yang ditinjau dari tepi terluar diafragma ke baris tahanan vertikal yang terdekat

d = kedalaman diafragma paralel terhadap gaya yang ditinjau di baris tahanan vertikal yang terdekat ke tepi

8. Untuk bangunan dengan diafragma yang tidak fleksibel, jarak antara pusat kekakuan dan pusat massa yang paralel terhadap masing-masing sumbu utama tidak boleh melebihi 15 persen lebar terbesar diafragma yang paralel terhadap sumbu itu. Ketentuan tambahan berikut ini harus dipenuhi untuk masing-masing arah sumbu utama :

$$\sum_{i=1}^m k_{1i} d_{1i}^2 + \sum_{j=1}^n k_{2j} d_{2j}^2 \geq 2,5 \left(0,05 + \frac{e_1}{b_1} \right) b_1^2 \sum_{i=1}^m k_{1i} \quad (8-2A)$$

$$\sum_{i=1}^m k_{1i} d_{1i}^2 + \sum_{j=1}^n k_{2j} d_{2j}^2 \geq 2,5 \left(0,05 + \frac{e_2}{b_2} \right) b_2^2 \sum_{j=1}^n k_{1j} \quad (8-2B)$$

di mana (lihat **Gambar 8-1**):

k_{1i} = kekakuan beban lateral dinding “ i ” atau rangka dibres “ i ” paralel pada sumbu utama 1

k_{2j} = kekakuan beban lateral dinding “ j ” atau rangka dibres “ j ” paralel pada sumbu utama 2

d_{1i} = jarak dari dinding “ i ” atau rangka dibres “ i ” ke pusat kekakuan, tegak lurus pada sumbu utama 1

d_{2j} = jarak dari dinding “ j ” atau rangka dibres “ j ” ke pusat kekakuan, tegak lurus pada sumbu utama 2

e_1 = jarak tegak lurus pada sumbu utama 1 antara pusat kekakuan dan pusat massa

b_1 = lebar diafragma tegak lurus pada sumbu utama 1

e_2 = jarak tegak lurus pada sumbu utama 2 antara pusat kekakuan dan pusat massa

b_2 = lebar diafragma tegak lurus pada sumbu utama 2

m = jumlah dinding dan rangka dibres yang menahan gaya lateral dalam arah 1

n = jumlah dinding dan rangka dibres yang menahan gaya lateral dalam arah 2

Persamaan 8-2 tidak perlu ditinjau jika struktur memenuhi semua ketentuan berikut :

1. Pengaturan dinding atau rangka dengan bresing adalah simetris terhadap masing-masing arah sumbu utama.
 2. Jarak antara kedua baris dinding atau rangka dengan bresing yang paling jauh adalah paling sedikit 90 persen dari dimensi struktur tegak lurus pada arah sumbu tersebut.
 3. Kekakuan pada masing-masing baris yang ditinjau untuk nomor 2 di atas paling sedikit 33 persen dari kekakuan total di arah sumbu tersebut.
9. Baris-baris sistem penahan gaya lateral harus diorientasikan pada sudut yang tidak lebih dari 15° terhadap sumbu horisontal ortogonal utama bangunan.
 10. Prosedur disain penyederhanaan harus digunakan untuk masing-masing arah sumbu horisontal ortogonal utama bangunan.
 11. Ketidakberaturan sistem yang diakibatkan oleh pergeseran sebidang atau keluar bidang dari elemen penahan tidak diperbolehkan.

PENGECUALIAN: Pergeseran sebidang atau keluar bidang dari dinding geser diijinkan pada bangunan dua tingkat dengan konstruksi rangka ringan, asalkan rangka pemikul dinding di atasnya didisain untuk pengaruh gaya gempa dari penggulingan dinding dengan faktor pembesaran 2,5.

12. Tahanan beban lateral dari semua tingkat tidak boleh kurang dari 80 persen dari tingkat di atasnya.

Tabel 8.1-1 Koefisien Disain dan Faktor untuk Sistem Penahan Gaya Gempa untuk Prosedur Disain Penyederhanaan

Sistem Penahan Gaya Gempa	Pasal SNI 1726 dimana Persyaratan Pendetailan Ditetapkan	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Batasan ^b		
			Kategori Disain Seismik		
			B	C	D, E
A. SISTEM DINDING PENUMPU					
1. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	5	I	I	I
2. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	4	I	I	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	7.2	2	I	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	7.2	1½	I	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	7.2	4	I	I	12 ^c
6. Dinding geser pracetak biasa	7.2	3	I	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5	I	I	I
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	3½	I	I	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	2	I	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	7.4	2	I	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	7.4	1½	I	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	7.4	1½	I	TI	TI
13. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser	7.5	6½	I	I	I
14. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7.1	6½	I	I	I
15. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	7.1 dan 7.5	2	I	I	TI ^d
16. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	7.1 dan 7.5	4	I	I	I
B. SISTEM RANGKA BANGUNAN					
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	7.1	8	I	I	I
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	6	I	I	I
3. Rangka baja dengan bresing konsentris	7.1	3¾	I	I	I
4. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	6	I	I	I
5. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	5	I	I	TI
6. Dinding geser beton polos didetail	7.2	2	I	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	7.2	1½	I	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	7.2	5	I	I	12 ^c
9. Dinding geser pracetak biasa	7.2	4	I	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan pengaku eksentris	7.3	8	I	I	I
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	7.3	5	I	I	I
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	7.3	3	I	I	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7.3	6½	I	I	I
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7.3	6	I	I	I
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	7.3	5	I	I	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5½	I	I	I
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	4	I	I	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	2	I	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	7.4	2	I	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	7.4	1½	I	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	7.4	1½	I	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser atau lembaran baja	7.1 dan 7.5	7	I	I	I
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser atau lembaran	7.1 dan 7.5	7	I	I	I

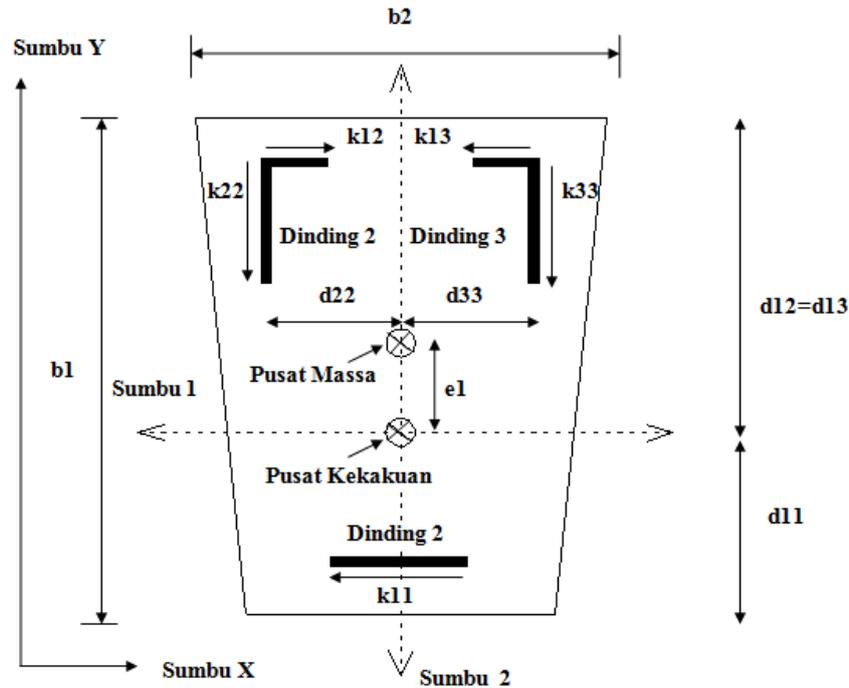
baja					
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	7.1 dan 7.5	2½	I	I	TI ^d
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	7.1	8	I	I	I
26. Dinding geser pelat baja khusus	7.1	7	I	I	I

^aKoefisien modifikasi respons, R , untuk penggunaan di seluruh isi standar ini

^bI = diijinkan; TI = tidak diijinkan.

^cDinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya tidak diijinkan dalam Kategori Disain Seismik E.

^dDinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya diijinkan sampai dengan ketinggian 10,6 m dalam Kategori Disain Seismik D dan tidak diijinkan dalam Kategori Disain Seismik E.



Gambar 8-1 Notasi yang Digunakan dalam Pengecekan Torsi untuk Diafragma Nonfleksibel

8.2. Dasar Disain

Struktur harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal lengkap dengan kekuatan yang cukup untuk menahan gaya gempa disain, yang ditetapkan dalam pasal ini, dalam kombinasi dengan beban lainnya. Gaya gempa disain harus didistribusikan ke berbagai elemen struktur dan sambungannya menggunakan analisis elastis linier sesuai dengan prosedur dari **Pasal 8.8**. Elemen-elemen sistem penahan gaya gempa dan sambungannya harus didetail sesuai dengan persyaratan yang sesuai untuk sistem struktur yang dipilih seperti diberikan dalam **Pasal 8.4.1**. Lintasan beban menerus dengan kekuatan dan kekakuan yang cukup harus disediakan untuk menyalurkan semua gaya dari titik penerapan beban ke titik akhir tahanan. Fondasi harus didisain untuk mengakomodasi gaya yang terjadi.

8.3. Pengaruh Beban Gempa dan Kombinasi

Semua elemen struktur, termasuk yang bukan bagian dari sistem penahan gaya gempa, harus didisain menggunakan pengaruh beban gempa dari **Pasal 8.3** kecuali jika dibebaskan oleh tata cara ini. Pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal dan vertikal seperti ditetapkan selanjutnya dalam **Pasal 8.3 .1**. Jika secara spesifik disyaratkan, pengaruh beban gempa harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat-lebih sistem, seperti ditetapkan selanjutnya dalam **Pasal 8.3.2**.

8.3.1 Pengaruh Beban Gempa

Pengaruh beban gempa, E , harus ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut ini:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-3** sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v \quad (8-3)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 8 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-4** sebagai berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (8-4)$$

di mana

E = pengaruh beban gempa

E_h = pengaruh gaya gempa horisontal seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.3.1.1**

E_v = pengaruh gaya gempa vertikal seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.3.1.2**

8.3.1.1 Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Pengaruh beban gempa horisontal, E_h , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-5** sebagai berikut:

$$E_h = Q_E \quad (8-5)$$

di mana

Q_E = pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p , seperti ditetapkan dalam **Pasal 8.7.5, 8.8.1, dan 9.2.1**

8.3.1.2 Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-6** sebagai berikut:

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (8-6)$$

di mana

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons disain pada perioda pendek yang diperoleh dari **Pasal 6.6.4**

D = pengaruh beban mati

PENGECEUALIAN: Pengaruh beban gempa vertikal, E_v , diijinkan diambil sebesar nol untuk salah satu kondisi berikut ini:

1. Dalam **Persamaan 8-3, 8-4, 8-7, dan 8-8** di mana S_{DS} adalah sama dengan atau kurang dari 0,125.
2. Dalam **Persamaan 8-4** jika menentukan kebutuhan muka-kontak tanah-struktur pada fondasi.

8.3.1.3 Kombinasi Beban Gempa

Jika pengaruh beban gempa yang ditetapkan, E , yang didefinisikan dalam **Pasal 8.3.1** dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam **Bab 4**, kombinasi beban gempa berikut harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban gempa dalam **Pasal 4.2.2 atau 4.2.3** untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir:

Kombinasi Dasar untuk Disain Kekuatan (lihat **Pasal 4.2.2 dan 4.2.3** untuk notasi).

5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + Q_E + L$
7. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + Q_E + 1,6H$

CATATAN:

1. Faktor beban untuk L dalam kombinasi 5 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian di mana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m², dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan.
2. Faktor beban pada H harus ditetapkan sama dengan nol dalam kombinasi 7 jika aksi struktur akibat H berlawanan dengan aksi struktur akibat E . Jika tekanan tanah lateral menyediakan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, tekanan tersebut tidak boleh dimasukkan dalam H tetapi harus dimasukkan dalam tahanan disain.

Kombinasi Dasar untuk Disain Tegangan Ijin (lihat **Pasal 4.2.2 dan 4.2.3** untuk notasi).

5. $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 0,7Q_E$
6. $(1,0 + 0,105S_{DS})D + H + F + 0,525Q_E + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
8. $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 0,7Q_E + H$

8.3.2 Pengaruh Beban Gempa Termasuk Faktor Kuat-Lebih 2,5

Jika disyaratkan secara spesifik, kondisi yang mengharuskan penerapan faktor kuat-lebih ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam **Pasal 4.2.3**, E harus diambil sama dengan E_m seperti ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-7** sebagai berikut :

$$E_m = E_{mh} + E_v \quad (8-7)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam **Pasal 4.2.2** atau kombinasi beban 8 dalam **Pasal 4.2.3**, E_m harus diambil sama dengan E_m seperti ditentukan sesuai dengan Persamaan 8-8 sebagai berikut :

$$E_m = E_{mh} - E_v \quad (8-8)$$

di mana

E_m = pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih

E_{mh} = pengaruh gaya gempa horisontal termasuk kuat-lebih struktur seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.3.2.1**.

E_v = pengaruh beban gempa vertikal seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.3.1.2**

8.3.2.1 Pengaruh Beban Gempa Horisontal dengan Faktor Kuat-Lebih 2,5

Pengaruh beban gempa horisontal dengan faktor kuat-lebih, E_{mh} , harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-9** sebagai berikut:

$$E_{mh} = 2,5Q_E \quad (8-9)$$

di mana

Q_E = pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p , seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.8.1, 8.7.5, dan Pasal 9.2.1**

PENGECEUALIAN: Nilai E_{mh} tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat terjadi dalam elemen seperti ditentukan oleh analisis mekanisme plastis yang rasional atau analisis respons nonlinier yang memanfaatkan nilai kekuatan material yang diharapkan yang realistis.

8.3.2.2 Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat-Lebih

Jika pengaruh beban gempa dengan kuat-lebih, E_m , yang didefinisikan dalam **Pasal 8.3.2** dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya yang ditetapkan dalam **Bab 4**, kombinasi beban gempa berikut harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban gempa dalam **Pasal 4.2.2 atau 4.2.3** untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir:

Kombinasi Dasar untuk Disain Kekuatan dengan Faktor Kuat-Lebih (lihat **Pasal 4.2.2 dan 3** untuk notasi).

5. $(1,2 + 0,2S_{DS})D + 2,5Q_E + L$

7. $(0,9 - 0,2S_{DS})D + 2,5Q_E + 1,6H$

CATATAN:

1. Faktor beban untuk L dalam kombinasi 5 diijinkan sama dengan 0,5 untuk semua hunian di mana besarnya beban hidup merata kurang dari atau sama dengan 5 kN/m², dengan pengecualian garasi atau ruang pertemuan.
2. Faktor beban pada H harus ditetapkan sama dengan nol dalam kombinasi 7 jika aksi struktur akibat H berlawanan dengan aksi struktur akibat E . Jika tekanan tanah lateral menyediakan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, tekanan tersebut tidak boleh dimasukkan dalam H tetapi harus dimasukkan dalam tahanan disain.

Kombinasi Dasar untuk Disain Tegangan Ijin dengan Faktor Kuat-Lebih (lihat **Pasal 4.2.2 dan 3** untuk notasi).

5. $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 1,75Q_E$

6. $(1,0 + 0,105S_{DS})D + H + F + 1,313Q_E + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$

8. $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 1,75Q_E + H$

8.3.2.3 Peningkatan Tegangan Ijin untuk Kombinasi Beban dengan Faktor Kuat-Lebih

Jika metodologi disain tegangan ijin digunakan dengan pengaruh beban gempa yang didefinisikan dalam **Pasal 8.3.2** diterapkan dalam kombinasi beban 5, 6, atau 8 dari **Pasal 4.2.3**, tegangan ijin boleh ditentukan menggunakan peningkatan tegangan ijin sebesar 1,2. Peningkatan ini tidak boleh dikombinasikan dengan peningkatan tegangan ijin atau reduksi kombinasi beban selain yang diijinkan oleh tata cara ini atau dokumen referensi lainnya, kecuali jika kombinasi dengan durasi peningkatan beban yang diijinkan diperbolehkan dalam standar yang berlaku.

8.4. Sistem Penahan Gaya Gempa

8.4.1 Pemilihan dan Batasan

Sistem dasar penahan gaya gempa lateral dan vertikal harus sesuai dengan salah satu tipe yang ditunjukkan dalam **Tabel 8-1** dan harus sesuai dengan semua persyaratan pendetailan yang dirujuk dalam tabel tersebut. Koefisien

modifikasi respons yang sesuai, R , yang ditunjukkan dalam **Tabel 8-1** harus digunakan dalam menentukan gaya geser dasar dan gaya disain elemen seperti ditetapkan selanjutnya dalam persyaratan gempa pada tata cara ini.

Persyaratan khusus rangka dan pendetailan diberikan dalam **Pasal 8.7** dan dalam **Pasal 7.14** untuk struktur yang dirancang dengan berbagai kategori disain seismik.

8.4.2 Kombinasi Sistem Rangka

8.4.2.1 Kombinasi Horisontal

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda boleh digunakan dalam masing-masing dua arah bangunan ortogonal utama. Jika kombinasi sistem struktur yang berbeda digunakan untuk menahan gaya lateral dalam arah yang sama, nilai R yang digunakan untuk disain dalam arah tersebut tidak boleh lebih besar dari nilai R terkecil untuk semua sistem yang digunakan dalam arah tersebut.

PENGEUALIAN: Untuk bangunan dengan konstruksi rangka ringan atau mempunyai diafragma fleksibel dengan ketinggian dua tingkat atau kurang di atas permukaan tanah, elemen penahan boleh didisain menggunakan nilai R yang terkecil dari sistem penahan gaya gempa yang berbeda yang dijumpai dalam masing-masing baris rangka yang independen. Nilai R yang digunakan untuk disain diafragma dalam struktur tersebut tidak boleh lebih besar dari nilai yang terkecil untuk semua sistem yang digunakan dalam arah yang sama.

8.4.2.2 Kombinasi Vertikal

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda boleh digunakan pada tingkat yang berbeda. Nilai R yang digunakan dalam suatu arah yang ditetapkan tidak boleh lebih besar dari nilai terkecil dari semua sistem yang digunakan di arah tersebut.

8.4.2.3 Persyaratan Pendetailan Rangka Kombinasi

Persyaratan pendetailan **Pasal 8.7** yang ditentukan oleh koefisien modifikasi respons, R , yang lebih tinggi, harus digunakan untuk elemen-elemen struktur pada sistem yang mempunyai koefisien modifikasi respons yang berbeda.

8.5. Fleksibilitas Diafragma

Diafragma yang terbuat dari panel struktur kayu, dek baja (tanpa lapisan atas), atau konstruksi berpanel yang serupa boleh dianggap fleksibel.

8.6. Penerapan Pembebanan

Pengaruh kombinasi beban harus ditinjau seperti ditetapkan dalam **Pasal 8.3**. Gaya gempa disain boleh diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah ortogonal dan kombinasi pengaruh gempa dari dua arah tidak perlu ditinjau. Beban yang berbalik arah harus ditinjau.

8.7. Persyaratan Disain dan Pendetailan

Disain dan pendetailan komponen sistem penahan gaya gempa harus sesuai dengan persyaratan pasal ini. Fondasi harus didisain untuk menahan gaya yang terjadi dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah disain. Sifat dinamis gaya, gerak tanah yang diharapkan, dasar disain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur, dan properti dinamis tanah harus disertakan dalam penentuan kriteria disain fondasi. Disain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan **Pasal 8.13**. Elemen struktur termasuk elemen fondasi harus memenuhi persyaratan disain dan pendetailan material yang ditetapkan dalam **Pasal 7.14**.

8.7.1 Sambungan

Semua bagian struktur antara sambungan pemisah harus dihubungkan satu sama lain, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya gempa, F_p , yang ditimbulkan oleh bagian yang dihubungkan. Semua bagian struktur yang lebih kecil harus diikat ke struktur utama dengan elemen yang mempunyai kekuatan sebesar 0,20 kali koefisien percepatan respons spektral disain periode pendek, S_{DS} , dikalikan nilai yang lebih besar dari berat bagian yang lebih kecil atau 5 persen berat bagian.

Sambungan positif untuk menahan gaya horisontal yang bekerja paralel terhadap elemen struktur harus disediakan untuk masing-masing balok, girder, atau rangka batang baik secara langsung ke elemen pendukungnya, atau ke pelat yang didisain untuk bekerja sebagai diafragma. Jika sambungan melalui diafragma, maka elemen pendukung elemen struktur harus juga dihubungkan pada diafragma. Sambungan harus mempunyai kuat disain minimum sebesar 5 persen reaksi beban mati ditambah beban hidup.

8.7.2 Bukaian atau Sudut Dalam Bangunan

Bukaian pada dinding geser, diafragma, atau elemen tipe pelat lainnya harus dilengkapi dengan tulangan di tepi bukaian atau sudut dalam yang didisain untuk menyalurkan tegangan ke dalam struktur, kecuali bila dijelaskan khusus dalam tata cara ini. Tulangan tepi harus menerus ke dalam badan dinding atau diafragma dengan jarak yang cukup untuk menyalurkan gaya dalam tulangan.

PENGECEUALIAN: Dinding geser berlubang dari panel struktur kayu boleh digunakan bila didisain sesuai dengan standar yang berlaku.

8.7.3 Elemen Kolektor

Elemen kolektor harus disediakan dengan kekuatan yang cukup untuk menyalurkan gaya gempa yang berasal dari bagian struktur lainnya ke elemen yang menyediakan tahanan terhadap gaya itu (lihat **Gambar 7.10-1**). Elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya ke elemen penahan harus didisain untuk menahan gaya yang didefinisikan dalam **Pasal 8.3.2**.

PENGECEUALIAN: Pada struktur, atau bagiannya, dengan bresing secara keseluruhan oleh dinding geser rangka ringan, elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan ke elemen penahan boleh didisain untuk menahan gaya sesuai dengan **Pasal 8.7.4**.

8.7.4 Diafragma

Diafragma lantai dan atap harus didisain untuk menahan gaya gempa disain di masing-masing tingkat, F_x , yang dihitung sesuai dengan **Pasal 8.8.2**. Jika diafragma disyaratkan untuk menyalurkan gaya gempa disain dari elemen penahan vertikal di atas diafragma ke elemen penahan vertikal lainnya di bawah diafragma akibat perubahan kekakuan lateral relatif pada elemen vertikal, bagian gaya geser gempa yang disalurkan di tingkat itu, V_x , harus ditambahkan pada gaya disain diafragma. Diafragma harus dapat memikul tegangan geser dan lentur yang dihasilkan dari gaya-gaya tersebut. Diafragma harus mempunyai pengikat atau *strut* untuk mendistribusikan gaya pengangkuran dinding ke diafragma. Sambungan diafragma harus berupa sambungan tipe mekanis atau las positif.

8.7.5 Pengangkuran Dinding Struktural

Dinding struktural harus diangkur ke semua lantai, atap, dan elemen struktur yang menyediakan pendukung lateral keluar bidang untuk dinding atau elemen yang ditumpu oleh dinding. Pengangkuran harus menyediakan koneksi langsung positif antara dinding dan lantai, atap, atau elemen struktur pendukung dengan kekuatan untuk menahan gaya melintang bidang yang diberikan oleh Persamaan 8-10:

$$F_p = 0,4 k_a S_{DS} k_a W_p \quad (8-10)$$

F_p tidak boleh diambil kurang dari $0,2 k_a W_p$

$$k_a = 1 + \frac{L_f}{30} \quad (8-11)$$

k_a tidak perlu lebih besar dari 2,0.

di mana :

F_p = gaya disain per individu angkur

k_a = faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma

L_f = panjang bentang dari diafragma fleksibel yang menyediakan tahanan lateral pada dinding; panjang bentang diukur dari elemen vertikal yang memberikan tahanan lateral terhadap diafragma dalam arah yang ditinjau.

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain pada perioda pendek

W_p = berat tributari dinding ke angkur

8.7.5.1 Penyaluran Gaya Pengangkuran ke dalam Diafragma

Diafragma harus disediakan dengan pengikat atau *strut* menerus antara kord diafragma untuk mendistribusikan gaya pengangkuran ini ke dalam diafragma. Kord tambahan diijinkan untuk digunakan untuk membentuk subdiafragma untuk menyalurkan gaya pengangkuran ke pengikat silang menerus utama. Rasio maksimum panjang-terhadap-lebar subdiafragma struktur adalah sebesar 2,5 sampai 1. Sambungan dan pengangkuran yang mampu menahan gaya yang ditetapkan harus disediakan antara diafragma dan komponen yang terhubung. Sambungan harus menerus ke dalam diafragma dengan jarak yang cukup untuk menghasilkan gaya yang disalurkan ke dalam diafragma.

8.7.5.2 Diafragma Kayu

Pada diafragma kayu, pengikat menerus harus ditambahkan pada pembungkus diafragma. Pengangkuran tidak boleh menggunakan paku miring (*toenails*) atau paku yang dapat mengalami penarikan baik pada papan kayu atau rangka yang digunakan pada lentur melintang serat atau tarik melintang serat. Pembungkus diafragma tidak boleh dianggap efektif sebagai pengikat atau *strut* seperti disyaratkan oleh pasal ini.

8.7.5.3 Diafragma Dek Metal

Pada diafragma dek metal, dek metal tidak boleh digunakan sebagai pengikat menerus yang disyaratkan oleh pasal ini dalam arah tegak lurus pada bentang dek.

8.7.5.4 Strip Terbenam

Pengangkuran diafragma ke dinding menggunakan strip terbenam harus dihubungkan dengan atau dikaitkan mengelilingi baja tulangan, atau selain itu dihentikan agar secara efektif menyalurkan gaya ke baja tulangan.

8.7.6 Dinding Penumpu dan Dinding Geser

Dinding penumpu dan dinding geser eksterior dan interior serta pengangkurannya harus didisain untuk gaya sebesar 40 persen dari percepatan respons spektral disain perioda pendek S_{DS} dikalikan berat dinding, W_c , tegak lurus pada permukaan, dengan gaya minimum sebesar 10 persen berat dinding. Hubungan satu sama lain dari elemen dinding dan sambungan untuk sistem rangka pendukung harus mempunyai daktilitas, kapasitas rotasi, atau kekuatan yang cukup untuk menahan susut, perubahan suhu, dan perbedaan penurunan fondasi bila dikombinasikan dengan gaya gempa.

8.7.7 Pengangkuran Sistem Non struktural

Jika disyaratkan oleh **Bab 9**, semua bagian atau elemen struktur harus diangkurkan untuk gaya gempa, F_p , yang ditetapkan.

8.8. Prosedur Analisis Gaya Lateral Penyederhanaan

Analisis gaya lateral ekuivalen harus terdiri dari penerapan gaya lateral statis ekuivalen pada model matematis linier struktur. Gaya lateral yang diterapkan dalam masing-masing arah harus dijumlah menjadi geser dasar gempa total yang diberikan oleh **Pasal 8.8.1** dan harus didistribusikan secara vertikal sesuai dengan **Pasal 8.8.2**. Untuk tujuan analisis, struktur harus dianggap terjepit di dasarnya.

8.8.1 Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 8-12** :

$$V = \frac{F S_{DS}}{R} W \quad (8-12)$$

di mana

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s$$

di mana F_a boleh diambil sebesar 1,0 untuk situs batu, 1,4 untuk situs tanah, atau ditentukan sesuai dengan **Pasal 6.2**. Untuk tujuan pasal ini, situs boleh dianggap sebagai batu jika terdapat tidak lebih dari 3 m tanah antara permukaan batu dan dasar fondasi telapak atau fondasi tika. Dalam menghitung S_{DS} , S_s harus sesuai dengan **Pasal 6.1**, tetapi tidak perlu diambil lebih besar dari 1,5.

$F = 1,0$ untuk bangunan satu tingkat

$F = 1,1$ untuk bangunan dua tingkat

$F = 1,2$ untuk bangunan tiga tingkat

R = faktor modifikasi respons dari **Tabel 8-1**

W = berat seismik efektif struktur termasuk beban mati total struktur di atas elevasi tanah sebagaimana didefinisikan dalam **Pasal 3.1**, dan beban-beban lainnya, yaitu:

1. Pada daerah yang digunakan untuk gudang/tempat penyimpanan, minimum 25 persen beban hidup lantai harus disertakan.

PENGECUALIAN:

- a. Bila beban gudang menambah tidak lebih dari 5 persen beban seismik efektif di tingkat yang ditinjau maka beban tersebut tidak perlu disertakan dalam penentuan beban seismik efektif.
 - b. Beban hidup lantai pada struktur garasi dan gedung parkir terbuka tidak perlu disertakan.
2. Jika ketentuan untuk partisi yang disyaratkan oleh **Pasal 4.2.2** digunakan dalam disain beban lantai, maka berat partisi aktual atau berat minimum sebesar $0,5 \text{ kN/m}^2$, diambil yang terbesar, harus disertakan.
 3. Berat total peralatan yang bersifat permanen dalam kondisi beroperasi.
 4. Berat tanaman atau material lainnya pada taman di tingkat atap atau di lokasi-lokasi lainnya yang serupa.

8.8.2 Distribusi Vertikal

Gaya di masing-masing tingkat harus dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_x = \frac{w_x}{W} V \quad (8-13)$$

di mana w_x = bagian dari berat seismik efektif struktur, W , di tingkat x .

8.8.3 Distribusi Geser Horisontal

Geser tingkat disain gempa di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (8-14)$$

di mana F_i = bagian dari geser dasar gempa, V (kN) yang timbul di Tingkat, i .

8.8.3.1 Struktur Diafragma Fleksibel

Geser tingkat disain gempa di tingkat-tingkat struktur dengan diafragma fleksibel, seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.5**, harus didistribusikan ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa menggunakan aturan luas tributari. Analisis dua dimensi diijinkan bila diafragma fleksibel.

8.8.3.2 Struktur dengan Diafragma yang Tidak Fleksibel

Untuk struktur dengan diafragma yang tidak fleksibel, seperti didefinisikan dalam **Pasal 8.5**, geser tingkat disain gempa, V_x , (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen vertikal dan diafragma.

8.8.3.2.1 Torsi.

Disain struktur dengan diafragma yang tidak fleksibel harus menyertakan momen torsi, M_t (kN-m) yang dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan.

8.8.4 Guling

Struktur harus didisain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan oleh gaya gempa yang ditentukan dalam **Pasal 8.8.2**. Fondasi struktur harus didisain untuk memikul tidak kurang dari 75 persen momen disain guling fondasi, M_f (kN-m) di muka-kontak fondasi-tanah.

8.8.5 Batasan Simpangan Antar Lantai dan Pemisahan Bangunan

Simpangan antar lantai struktur tidak perlu dihitung. Jika nilai simpangan antar lantai diperlukan untuk penggunaan dalam tata cara material, untuk menentukan pemisahan struktur antara bangunan, untuk disain penutup permukaan bangunan (*cladding*), atau untuk persyaratan disain lainnya, simpangan antar lantai harus diambil sebesar 1 persen ketinggian bangunan kecuali perhitungan menunjukkan kurang. Semua bagian struktur harus didisain untuk bekerja sebagai unit yang terintegrasi dalam menahan gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktur oleh jarak yang cukup untuk menghindari kontak yang merusak akibat defleksi total.

9. PERSYARATAN DISAIN SEISMIC PADA ELEMEN NONSTRUKTURAL

9.1. Ruang Lingkup

Bab ini menetapkan kriteria disain minimum untuk elemen-elemen nonstruktural yang secara permanen disatukan pada struktur dan untuk tumpuannya serta untukambatannya. Bila berat suatu elemen nonstruktural adalah lebih besar dari atau sama dengan 25 persen berat seismik efektif struktur, W , yang didefinisikan pada **Pasal 7.7.2**, maka elemen

nonstruktural tersebut harus diklasifikasikan sebagai suatu struktur bangunan non gedung dan harus didisain sesuai dengan **Pasal 11.1.3.b**.

9.1.1 Kategori Disain Seismik dan Faktor Keutamaan Elemen

Elemen nonstruktural harus didisain dengan kategori disain seismik yang sama dengan KDS struktur tempat elemen berada atau KDS struktur penyokongnya. Semua elemen harus didisain dengan suatu faktor keutamaan elemen yang diberikan pada bagian ini. Faktor keutamaan elemen (I_p) diambil sebesar 1,5 jika kondisi berikut terpenuhi:

1. Elemen nonstruktural diperlukan untuk tujuan keselamatan setelah gempa, termasuk sistem sprinkler untuk proteksi kebakaran dan tangga keluar.
2. Elemen nonstruktural yang menyalurkan, menyangga atau mengandung bahan-bahan berbahaya yang dapat mengancam keselamatan umum bila bocor.
3. Elemen nonstruktural yang terdapat di dalam atau menumpu pada struktur dengan Kategori Risiko Bangunan IV dan elemen tersebut diperlukan untuk kelanjutan operasional bangunan, atau kerusakannya akan mempengaruhi kelanjutan operasional bangunan.

Elemen-elemen nonstruktural lainnya dapat didisain dengan faktor keutamaan elemen (I_p) = 1,0.

9.1.2 Pengecualian-pengecualian

Elemen-elemen nonstruktural berikut tidak termasuk dalam ketentuan pada bab ini:

1. Perabot (kecuali lemari penyimpanan sebagaimana tercatat dalam Tabel 9.5-1)
2. Peralatan yang bersifat sementara atau yang dapat dipindahkan
3. Elemen arsitektural pada Kategori Disain Seismik B selain parapet yang ditumpu oleh dinding penumpu atau dinding geser selama faktor keutamaan elemen (I_p) adalah 1,0.
4. Elemen mekanikal dan elektrikal pada Kategori Disain Seismik B.
5. Elemen mekanikal dan elektrikal pada Kategori Disain Seismik C selama faktor keutamaan elemen (I_p) adalah 1,0.
6. Elemen mekanikal dan elektrikal pada Kategori Disain Seismik D, E, atau F di mana faktor keutamaan elemen (I_p) adalah 1,0 dan seluruh ketentuan berikut terpenuhi:
 - a. Elemen disambungkan ke struktur secara pasti
 - b. Terdapat sambungan fleksibel antara elemen dan sistem pemipaan, serta salah satu kondisi berikut terpenuhi:
 - i. Elemen memiliki berat = 1780 N atau kurang dan pusat massa setinggi 1.22 m atau kurang di atas pelat lantai didekatnya.
 - ii. Elemen memiliki berat = 89 N atau kurang atau untuk sistem yang terdistribusi beratnya = 73 N/m atau kurang.

9.1.3 Penerapan Ketentuan Elemen Nonstruktural pada Struktur Bangunan Non-Gedung

Struktur bangunan non gedung (termasuk rak penyimpanan dan tangki) yang ditumpu oleh struktur lain harus didisain sesuai dengan **Bab 10**. Jika **Pasal 10.1.3** mensyaratkan bahwa gaya gempa ditentukan sesuai dengan **Bab 9** dan nilai untuk R_p tidak diberikan pada **Tabel 9.5-1** atau **9.6-1**, maka R_p harus diambil sama dengan nilai R yang diberikan pada **Bab 10**. Nilai a_p diambil sesuai dengan nilai a pada catatan kaki **Tabel 9.5-1** atau **9.6-1**.

9.2. Pengaruh Gempa Rencana

9.2.1 Gaya Seismik Disain

Gaya seismik disain horisontal (F_p) harus diterapkan pada titik berat elemen dan didistribusikan sesuai dengan distribusi massa elemen dan harus ditentukan sesuai dengan **persamaan 9.2-1**:

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \quad (9.2-1)$$

F_p tidak perlu lebih besar dari

$$F_p = 1.6S_{DS}I_pW_p \quad (9.2-2)$$

dan F_p tidak boleh lebih kecil dari

$$F_p = 0.3S_{DS}I_pW_p \quad (9.2-3)$$

di mana,

F_p = Gaya seismik rencana

S_{DS} = Percepatan spektra pada perioda pendek, seperti yang ditentukan **Pasal 6.3**.

a_p = Faktor amplifikasi elemen, bervariasi dari 1 sampai 2,5 (gunakan nilai yang sesuai dari **Tabel 9.5-1** atau **9.6-1**)

I_p = Faktor keutamaan elemen, bervariasi dari 1 sampai 1,5 (Lihat **Pasal 9.1.1**)

W_p = Berat operasional elemen

R_p = Faktor modifikasi respons elemen, bervariasi dari 1 sampai 12 (gunakan nilai yang sesuai dari **Tabel 9.5-1** atau **9.6-1**)

z = Tinggi struktur di mana elemen ditambahkan, diukur dari dasar. Untuk elemen di lantai dasar atau di bawah lantai dasar, z dapat diambil 0. Nilai untuk z/h tidak perlu lebih dari 1,0

h = Tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap.

Gaya (F_p) harus diterapkan secara independen pada sekurangnya dua arah horisontal yang ortogonal dan dikombinasikan dengan beban-beban layan yang bekerja pada elemen. Untuk sistem kantilever vertikal, gaya F_p harus diasumsikan bekerja di arah horisontal sebarang. Selain itu, elemen tersebut harus didisain untuk suatu gaya seismik vertikal sebesar $\pm 0.2S_{DS}W_p$ yang bekerja secara bersamaan dengan F_p . Faktor redundansi, ρ , dapat diambil sebesar 1 dan faktor kuat lebih, Ω_o , tidak berlaku disini.

PENGECEUALIAN: Gaya seismik vertikal tidak perlu diperhitungkan untuk panel lantai dan langit-langit yang diletakkan tanpa tahanan.

Jika beban-beban non seismik pada elemen nonstruktural melebihi F_p , maka beban-beban tersebut akan menentukan perencanaan elemen berbasis kekuatan, tetapi ketentuan dan batasan detailing yang diberikan pada bab ini harus tetap berlaku.

Sebagai ganti gaya-gaya yang ditentukan dengan **Persamaan 9.2-1**, percepatan pada sebarang tingkat dapat ditentukan dengan prosedur analisis ragam berdasarkan **Pasal 7.9** dengan $R = 1,0$. Gaya seismik ditentukan dengan **Persamaan 9.2-4**:

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p} \right)} A_x \quad (9.2-4)$$

di mana a_i adalah percepatan pada tingkat ke- i yang didapat dari analisis ragam dan di mana A_x adalah faktor amplifikasi torsi yang ditentukan dengan **Persamaan 7.8-13**. Batas atas dan batas bawah F_p tetap mengacu pada **Persamaan 9.3-2 dan 9.3-3**.

9.2.2 Perpindahan Relatif Seismik

Pengaruh perpindahan relatif seismik harus diperhitungkan pada kombinasi dengan perpindahan akibat beban-beban lain. Perpindahan relatif seismik D_{pl} ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$D_{pl} = D_p I_e$$

di mana D_p ditentukan sesuai persamaan-persamaan pada **Pasal 9.2.3 dan 9.2.4**.

9.2.3 Perpindahan dalam Struktur

Untuk dua titik sambungan pada struktur yang sama, satu pada ketinggian h_x dan yang lainnya pada ketinggian h_y , D_p ditentukan sebagai

$$D_p = \Delta_{xA} - \Delta_{yA}$$

D_p dapat juga ditentukan berdasarkan prosedur ragam sesuai dengan **Pasal 7.9**, dengan menggunakan perbedaan lendutan lantai yang dihitung untuk setiap ragam dan mengkombinasikannya menggunakan prosedur kombinasi ragam yang sesuai. D_p tidak perlu diambil lebih besar dari :

$$D_p = \frac{(h_x - h_y)\Delta_{aA}}{h_{xx}}$$

9.2.4 Perpindahan antara Struktur

Untuk dua titik sambungan pada struktur A dan B yang terpisah, satu pada ketinggian h_x dan yang lainnya pada ketinggian h_y , D_p ditentukan sebagai

$$D_p = |\delta_{xA}| + |\delta_{yB}|$$

D_p tidak perlu lebih besar dari:

$$D_p = \frac{h_x \Delta_{aA}}{h_{xx}} + \frac{h_y \Delta_{aB}}{h_{xx}}$$

di mana

D_p = Perpindahan relatif seismik, di mana elemen harus didisain untuk mengakomodasinya

δ_{xA} = Perpindahan bangunan di tingkat x pada Struktur A, ditentukan berdasarkan **persamaan 7.8-14**.

δ_{yA} = Perpindahan bangunan di tingkat y pada Struktur A, ditentukan berdasarkan **persamaan 7.8-14**.

δ_{yB} = Perpindahan bangunan di tingkat y pada Struktur B, ditentukan berdasarkan **persamaan 7.8-14**

h_x = Tinggi tingkat x di mana titik sambungan atas diletakkan

h_y = Tinggi tingkat y di mana titik sambungan bawah diletakkan

Δ_{aA} = Simpangan antar lantai yang diijinkan untuk struktur A seperti yang didefinisikan pada **Tabel 7.12-1**

Δ_{aB} = Simpangan antar lantai yang diijinkan untuk struktur B seperti yang didefinisikan pada **Tabel 7.12-1**

h_{xx} = Tinggi antar lantai yang digunakan dalam pendefinisian simpangan yang diijinkan Δ_a pada **Tabel 7.12-1**.

Catatan: Δ_a/h_{xx} = indeks simpangan antar lantai.

Pengaruh perpindahan relatif seismik harus diperhitungkan pada kombinasi dengan perpindahan akibat beban-beban lainnya.

9.3. Pengangkur Elemen Nonstruktural

9.3.1 Umum

Elemen-elemen nonstruktural, arsitektural, mekanikal dan elektrik serta penyokongnya harus ditambatkan atau diangkurkan pada struktur bangunan sesuai dengan ketentuan pada bagian ini dan tambatan harus memenuhi ketentuan untuk material induk yang telah ditetapkan pada bagian lain dari peraturan ini. Tambatan elemen harus dilas, dibaut, atau dikencangkan secara pasti tanpa memperhitungkan tahanan gesek yang dihasilkan oleh pengaruh gravitasi. Suatu lintasan beban yang menerus dengan kekuatan dan kekakuan yang memadai antara elemen dan struktur penyokongnya harus disediakan. Elemen lokal struktur termasuk sambungan harus didisain dan dibuat untuk gaya-gaya elemen yang menentukan disain elemen atau sambungannya. Gaya-gaya elemen haruslah sebagaimana ditentukan sesuai **Pasal 9.2.1**, kecuali bahwa modifikasi untuk F_p dan R_p , akibat kondisi pengangkurkan tidak perlu diperhitungkan. Dokumen disain harus mencakup informasi yang memadai mengenai tambatan yang digunakan untuk menentukan kesesuaiannya dengan ketentuan pada bagian ini.

9.3.2 Gaya Disain

Gaya pada tambatan harus ditentukan berdasarkan gaya dan perpindahan elemen yang diberikan pada **Pasal 9.2.1** and **9.2.2**, kecuali bahwa R_p tidak boleh diambil melebihi 6.

9.3.3 Angkur pada Beton atau Bata

9.3.3.1 Angkur pada Beton

Angkur yang tertanam pada beton harus didisain sesuai dengan standar yang berlaku.

9.3.3.2 Angkur pada Bata

Angkur yang tertanam pada bata harus didisain sesuai dengan standar yang berlaku, dan angkur tersebut harus didisain sedemikian sehingga kekuatannya ditentukan oleh kuat tarik atau geser dari elemen baja yang daktail.

PENGECUALIAN :

Angkur harus dihubungkan ke struktur utama bangunan dan didisain mengalami leleh daktail di level pembebanan dengan ketentuan bahwa gaya yang bekerja pada angkur tidak melebihi dari kekuatan rencana, atau kekuatan rencana minimum dari angkur tersebut setidaknya 2,5 kali dari gaya terfaktor yang disalurkan oleh komponen nonstruktural.

9.3.3.3 Angkur Pasca-Instalasi pada Beton dan Bata

Angkur pasca-instalasi pada beton harus memenuhi persyaratan (prakualifikasi) untuk penerapan gempa sesuai dengan standar yang berlaku atau prosedur kualifikasi lain yang telah terbukti. Angkur pasca-instalasi pada bata harus memenuhi persyaratan (prakualifikasi) untuk penerapan gempa sesuai dengan prosedur klasifikasi yang telah disahkan/ditentukan.

9.3.4 Kondisi Pemasangan

Penentuan gaya pada tambatan harus memperhitungkan kondisi yang mungkin terjadi pada saat pemasangan, termasuk eksentrisitas dan **pengaruh berkurangnya bidang kontak (*prying effect*)**.

9.3.5 Tambatan Majemuk

Penentuan distribusi gaya pada tambatan majemuk pada satu lokasi harus memperhitungkan kekakuan dan daktilitas elemen, penyokong, tambatan, dan struktur bangunan dan kemampuan untuk meredistribusi beban ke tambatan lainnya pada kelompok tambatan. Disain pengankuran pada beton, sesuai dengan peraturan yang berlaku, memenuhi persyaratan bab ini.

9.3.6 Baut dengan Pengencang Mesin

Baut yang dikencangkan dengan menggunakan mesin, yang ditanamkan pada beton atau baja, tidak boleh digunakan pada kondisi beban tarik yang menerus/berkelanjutan atau pada bresing di daerah yang dirancang dengan Kategori Disain Gempa D, E, atau F kecuali telah ditetapkan untuk pembebanan gempa. Penggunaan baut dengan pengencang mesin pada bata tidak diijinkan kecuali telah ditetapkan untuk pembebanan gempa.

PENGECUALIAN: Baut dengan pengencang mesin yang ditanamkan pada beton dan difungsikan untuk menopang lantai akustik atau panel langit-langit dan sistem yang telah terdistribusi dimana beban layan pada satu baut tidak melebihi 0,4 kN. Baut dengan pengencang mesin yang ditanamkan pada baja dimana beban layan pada satu baut tidak melebihi 1,12 kN.

9.3.7 Klip Friksi

Klip friksi pada Kategori Disain Gempa D, E atau F tidak boleh digunakan untuk menopang beban menerus/berkelanjutan atau sebagai penahan beban seismik. Balok tipe C dan klem dengan flens lebar diijinkan sebagai penggantung dan dilengkapi dengan tali pengikat seperti yang didefinisikan pada peraturan. Pengunci baut (*lock nuts*) atau sejenisnya harus disediakan untuk mencegah kelonggaran baut.

9.4. Elemen Arsitektural

9.4.1 Umum

Elemen arsitektural, penyokong, dan tambatannya harus memenuhi persyaratan pada bagian ini. Koefisien yang sesuai dipilih menurut **Tabel 9.5-1**.

PENGECUALIAN: Elemen yang disokong dengan rantai atau digantung pada struktur tidak perlu memenuhi persyaratan gaya dan perpindahan relatif seismik selama elemen tersebut memenuhi seluruh kriteria berikut:

1. Beban disain untuk elemen tersebut haruslah sama dengan 1,4 kali berat operasional yang bekerja ke bawah, simultan dengan beban horisontal yang sama dengan 1,4 kali berat operasional. Beban horisontal harus bekerja pada arah yang memberikan pembebanan paling kritis untuk disain.
2. Pengaruh interaksi seismik harus diperhitungkan.
3. Sambungan ke struktur harus memperbolehkan rentang gerakan 360 derajat pada bidang horisontal.

9.4.2 Gaya dan Perpindahan

Semua elemen arsitektural serta penyokong dan tambatannya, harus didisain terhadap gaya seismik pada **Pasal 9.2.1**. Elemen arsitektural yang dapat menimbulkan bahaya terhadap keselamatan jiwa harus didisain untuk mengakomodasi ketentuan perpindahan relatif seismik sesuai **Pasal 9.2.2**. Elemen arsitektural harus didisain dengan mempertimbangkan lendutan vertikal akibat rotasi join pada elemen struktur kantilever.

Tabel 9.5.1 Koefisien untuk Elemen Arsitektural

Elemen Arsitektural	a_p^a	R_p^b
Dinding nonstruktural interior dan partisi ^b		
Dinding bata biasa (tanpa perkuatan)	1,0	1,5
Dinding dan partisi lainnya	1,0	2,5
Elemen kantilever (tidak terikat atau terikat ke rangka struktural di bawah pusat massanya)		
Sandaran (<i>parapet</i>) dan dinding kantilever nonstruktural interior	2,5	2,5
Cerobong dan rak- rak yang terikat dan disokong oleh rangka struktural	2,5	2,5
Elemen kantilever (Terikat ke rangka struktural di atas pusat massa)		
Sandaran (<i>parapet</i>)	1,0	2,5
Cerobong	1,0	2,5
Dinding nonstruktural eksterior ^b	1,0 ^b	2,5
Elemen dinding nonstruktural eksterior dan sambungan ^b		
Elemen dinding	1,0	2,5
Kumpulan sambungan dinding panel	1,0	2,5
Penggancang (sambungan) dalam sistem sambungan	1,25	1,0
Veneer (lapisan kayu halus pada perabotan)		
Elemen dan alat Pelengkap yang terbatas tingkat deformasinya	1,0	2,5
Elemen dan alat pelengkap yang rendah tingkat deformasinya	1,0	1,5
Kamar di atap (kecuali jika dirangkakan dengan perpanjangan dari rangka gedung)	2,5	3,5
Langit-langit		
Semua jenis	1,0	2,5
<i>Filing cabinet</i>		
Lemari penyimpan dan peralatan laboratorium	1,0	2,5
Lantai Akses		
Lantai akses khusus (Didisain Sesuai dengan Sub Bab 6.5.7.2)	1,0	2,5
Lainnya	1,0	1,5
Gantungan dan ornamen	2,5	2,5
Rambu dan papan reklame	2,5	2,5
Elemen kaku lainnya		
Elemen dan alat pelengkap yang tinggi tingkat deformasinya	1,0	3,5
Elemen dan alat pelengkap yang terbatas tingkat deformasinya	1,0	2,5
Elemen dan alat pelengkap yang rendah tingkat deformasinya	1,0	1,5
Elemen fleksibel lainnya		
Elemen dan alat pelengkap yang tinggi tingkat deformasinya	2,5	3,5
Elemen dan alat pelengkap yang terbatas tingkat deformasinya	2,5	2,5
Elemen dan alat pelengkap yang rendah tingkat deformasinya	2,5	1,5
Tangga keluar (yang bukan merupakan bagian struktur bangunan)	1,0	2,5

^a Nilai yang rendah untuk a_p sebaiknya tidak digunakan kecuali jika telah dibuktikan melalui analisis dinamik. Nilai a_p tidak boleh lebih kecil dari 1,00. Nilai $a_p = 1$ untuk elemen yang kaku dan elemen yang tertambat kaku. Nilai $a_p = 2.5$ untuk elemen yang fleksibel dan elemen yang terpasang dengan fleksibel. Lihat (**Harusnya Pasal 3.1, tapi ndak ada**) untuk pendefinisian kaku dan fleksibel

^b Jika diafragma yang fleksibel memberikan penyokong lateral untuk dinding beton atau bata dan partisi, gaya disain untuk pengangkutan ke diafragma harus sesuai dengan ketentuan di Pasal 5.11.2.

9.5. Elemen Mekanikal dan Elektrikal

9.5.1 Umum

Elemen mekanikal dan elektrikal serta penyokong dan tambatannya harus memenuhi persyaratan pada bagian ini. Tambatan harus memenuhi persyaratan pada **Pasal 9.3**. Koefisien yang sesuai harus dipilih dari **Tabel 9.6-1**.

PENGECUALIAN: Perangkat lampu dan kipas angin di langit-langit yang tidak dihubungkan ke sistem pemipaan dan *ducting*, yang disokong dengan rantai atau digantung pada struktur, tidak perlu memenuhi persyaratan gaya dan perpindahan relatif seismik selama elemen tersebut memenuhi seluruh kriteria berikut:

1. Beban disain untuk elemen tersebut haruslah sama dengan 1.4 kali berat operasional yang bekerja ke bawah, simultan dengan beban horisontal yang sama dengan 1.4 kali berat operasional. Beban horisontal tersebut harus bekerja pada arah yang memberikan pembebanan paling kritis untuk disain.
2. Pengaruh interaksi gempa harus diperhitungkan
3. Sambungan ke struktur harus memperbolehkan rentang gerakan 360 derajat pada bidang horisontal.

Jika disain elemen mekanikal dan elektrikal terhadap pengaruh seismik perlu dilakukan, maka harus diperhitungkan adanya pengaruh dinamik elemen, muatannya, dan jika perlu, penyokongnya. Pada kasus tersebut, interaksi antara elemen dan struktur penyokong, termasuk elemen mekanikal dan elektrikal lainnya, harus diperhitungkan.

Tabel 9.6-1 Koefisien Seismik untuk Elemen Mekanikal dan Elektrikal

Elemen Mekanikal dan Elektrikal	a_p^a	R_p^b
HVAC sisi udara, kipas, pengontrol udara (<i>air handler</i>), unit pendingin ruangan, pemanas rak, kotak pendistribusi udara, dan elemen mekanikal lain yang terbuat dari rangka baja.	2,5	6,0
HVAC sisi basah, ketel (<i>boiler</i>), tungku, tangki dan bin atmosfer, <i>chiller</i> , pemanas air, penukar panas (<i>heat exchanger</i>), penguap, pemisah udara, peralatan manufaktur atau proses, dan elemen mekanikal lain yang terbuat dari material yang tinggi tingkat deformasinya.	1,0	2,5
Motor bakar, turbin, pompa, kompresor, tangki bertekanan yang tidak tersokong dan tidak tercakup dalam Bab 11	1,0	2,5
Tangki bertekanan yang tersokong yang tidak tercakup dalam Bab 11	2,5	2,5
Elemen <i>elevator/lift</i> dan eskalator	1,0	2,5
Generator, baterai, <i>inverter</i> , motor, <i>transformer</i> , dan elemen elektrikal lainnya yang terbuat dari material yang tinggi deformasinya	1,0	2,5
Pusat pengendali motor (<i>Motor Control Center</i>), papan panel, <i>switch gear</i> , rak instrumentasi, dan elemen lain yang terbuat dari rangka baja	2,5	6,0
Peralatan komunikasi, komputer, instrumentasi dan kontrol	1,0	2,5
Cerobong yang terpasang pada atap, rak, menara pendingin dan menara listrik yang terikat secara lateral di bawah pusat massanya.	2,5	3,0
Cerobong yang terpasang pada atap, rak, menara pendingin dan menara listrik yang terikat secara lateral di atas pusat massanya.	1,0	2,5
Pengikat lampu	1,0	1,5
Elemen mekanikal dan elektrikal yang lain	1,0	1,5
Elemen dan Sistem yang terisolasi terhadap getaran^b		
Sistem dan elemen yang terisolasi dengan menggunakan elemen <i>neoprene</i> dan lantai yang terisolasi dengan <i>neoprene</i> dengan peralatan elastomeric atau penghenti berpegas yang terpasang atau terpisah	2,5	2,5
Elemen dan sistem yang terisolasi dengan pegas, dan lantai yang terisolasi dari getaran yang terkekang rapat dengan peralatan elastomer atau penghenti berpegas yang terpasang atau terpisah	2,5	2,0
Elemen dan sistem yang terisolasi secara internal	2,5	2,0
Perlengkapan yang terisolasi dari getaran yang tergantung, termasuk peralatan di dalam saluran dan elemen yang terisolasi secara internal	2,5	2,5
Sistem Distribusi		
Pemipaan sesuai dengan ASME B31, termasuk elemen di dalamnya, dengan sambungan yang terbuat dengan pengelasan.	2,5	12,0
Pemipaan sesuai dengan ASME B31, termasuk elemen di dalamnya yang terbuat dari material yang tinggi dan terbatas tinggi deformasinya, dengan sambungan yang terbuat dengan ulir, lem, kopling atau patri kompresi atau kopling beralur.	2,5	6,0
Pemipaan yang tidak sesuai dengan ASME B31, termasuk elemen di dalamnya yang terkonstruksi dengan material yang tinggi deformasinya, dengan sambungan yang terbuat dengan pengelasan	2,5	9,0
Pemipaan tidak sesuai dengan ASME B31, termasuk elemen di dalamnya yang terbuat dari material yang tinggi dan terbatas tingkat deformasinya, dengan sambungan yang terbuat dengan ulir, lem, kopling atau patri kompresi atau kopling beralur.	2,5	4,5
Pemipaan yang terbuat dari material yang rendah tingkat deformasinya seperti besi tuang, kaca dan plastik yang tidak lentur	2,5	3,0
Pekerjaan saluran udara termasuk elemen di dalamnya yang dikonstruksi dengan material yang tinggi tingkat deformasinya dengan sambungan terbuat dengan pengelasan atau patri	2,5	9,0
Pekerjaan saluran udara termasuk elemen di dalamnya yang dikonstruksi dengan material yang tinggi atau terbatas tingkat deformasinya dengan sambungan terbuat dengan pengelasan atau patri	2,5	6,0
Pekerjaan saluran udara termasuk elemen di dalamnya yang dikonstruksi dengan material yang rendah tingkat deformasinya seperti besi tuang, kaca dan plastik non-daktail.	2,5	3,0
Saluran elektrikal dan tempat kabel yang tergantung	2,5	6,0
<i>Bus duct</i>	1,0	2,5
Pipa air kotor (<i>Plumbing</i>)	1,0	2,5
Ban berjalan untuk manufaktur dan proses	2,5	3,0

^a Nilai yang lebih rendah untuk a_p diijinkan jika dibuktikan dari analisis dinamik yang detail. Nilai a_p tidak boleh kurang dari 1. Nilai 1 digunakan untuk elemen yang kaku dan elemen yang tertambat kaku. Nilai a_p 2.5 untuk elemen yang fleksibel dan elemen yang tertambat dengan fleksibel.

^b Elemen yang terpasang pada peredam getaran harus memiliki pengekang benturan atau *snubber* di setiap arah horisontal. Gaya rencana dapat diambil sebesar $2F_p$ jika terdapat celah nominal bersih antara rangka penyokong elemen dan pengekang lebih besar dari 5 mm. Jika celah nominal bersih yang dispesifikasikan pada dokumen konstruksi kurang dari 5 mm, gaya rencana yang diijinkan adalah F_p

10. PENGARUH GEMPA PADA STRUKTUR BANGUNAN NON GEDUNG

10.1. Ruang Lingkup

10.1.1 Struktur Bangunan Non Gedung

Struktur bangunan non gedung adalah semua sistem struktur bukan gedung yang memikul beban gravitasi dan perlu diamankan terhadap pengaruh gempa. Namun ruang lingkup struktur bangunan non gedung, tidak termasuk struktur bangunan seperti yang dinyatakan pada **Pasal 1.2**. Struktur bangunan non gedung yang diletakkan di tanah atau menumpu pada struktur lainnya harus direncanakan untuk memikul gaya lateral yang secara spesifik diberikan pada Bab ini.

10.1.2 Prosedur Analisis Struktur

Prosedur analisis untuk struktur bangunan non gedung dibedakan menjadi dua jenis. Prosedur analisis struktur bangunan non gedung yang menyerupai gedung harus mengikuti prosedur analisis struktur gedung, sesuai dengan **Pasal 7**. Prosedur analisis struktur bangunan non gedung yang tidak menyerupai gedung harus memperhitungkan karakteristik dinamikanya, apakah dengan mengikuti ketentuan **Pasal 7.8** untuk prosedur gaya lateral ekuivalen, atau **Pasal 7.9** untuk prosedur analisis ragam, atau **Pasal 11.1** untuk prosedur analisis respons riwayat waktu linier, atau **Pasal 11.2** untuk prosedur analisis respons riwayat waktu non-linier, atau prosedur yang diharuskan oleh dokumen referensi yang spesifik untuk bangunan tersebut.

10.1.3 Struktur Bangunan Non Gedung yang Menumpu pada Struktur Lain

Jika struktur bangunan non gedung yang diberikan pada **Tabel 10.4.1** menumpu pada struktur lain, dan struktur bangunan non gedung tersebut bukan merupakan sistem penahan gempa utama, maka berlaku salah satu dari metoda berikut:

- a. Berat struktur bangunan non gedung kurang dari 25 persen dari jumlah berat total

Untuk kondisi di mana berat struktur bangunan non gedung kurang dari 25 persen dari jumlah berat total struktur bangunan non gedung dan struktur penopangnya, maka gaya gempa rencana untuk struktur bangunan non gedung harus dihitung mengikuti **Bab 9** di mana nilai R_p dan a_p harus ditentukan sesuai **Pasal 9.1.5**. Struktur penumpu harus direncanakan menurut ketentuan pada **Bab 7**, atau **Pasal 10.5** yang sesuai dengan berat struktur non gedung yang digunakan dalam perhitungan berat seismik efektif, W .

- b. Berat struktur bangunan non gedung lebih atau sama dengan 25 persen dari jumlah berat total

Untuk kondisi di mana berat struktur bangunan non gedung lebih atau sama dengan 25 persen berat total struktur bangunan non gedung dan struktur penopangnya, maka analisis struktur harus dilakukan untuk menentukan gaya gempa rencana sebagai berikut:

- Jika struktur bangunan non gedung memiliki karakteristik dinamik kaku (sesuai **Pasal 10.2.3**), maka disain struktur bangunan non gedung dan penambatannya mengikuti prosedur untuk elemen nonstruktural (**Bab 9**) di mana nilai R_p harus diambil sama dengan nilai R untuk struktur non gedung yang dicantumkan dalam **Tabel 10.4-2**, dan nilai a_p harus diambil 1,0. Struktur penumpu harus direncanakan menurut ketentuan-ketentuan pada **Bab 7** atau **Pasal 10.5**, yang mana sesuai, dan nilai R dapat diambil sama dengan nilai R dari sistem struktur penumpu.
- Jika struktur bangunan non gedung memiliki karakteristik dinamik yang tidak kaku, di mana perioda fundamentalnya $T \geq 0,06$ detik, maka struktur bangunan non gedung dan penumpunya harus dimodelkan bersama-sama, sesuai dengan **Pasal 10.5**, di mana nilai R diambil dari nilai terkecil untuk struktur bangunan non gedung atau struktur penumpunya. Struktur non gedung dan pengikat-pengikatnya harus direncanakan berdasarkan gaya-gaya yang dihitung untuk struktur non gedung dalam analisis kombinasi struktur non gedung dan penumpunya.

10.2. Ketentuan-ketentuan Disain Struktur

10.2.1 Dasar Perencanaan

Struktur bangunan non gedung harus direncanakan sesuai dengan **Pasal 10.5** dan **10.6**, untuk dapat menahan gaya lateral seismik minimum, yang tidak boleh kecil dari persyaratan pada **Pasal 7.8**, dengan tambahan ketentuan berikut :

1. Sistem penahan gaya seismik harus dipilih sebagai berikut:
 - a. Untuk struktur bangunan non gedung yang menyerupai gedung, sistem struktur dipilih berdasarkan tipe struktur pada **Tabel 7.2-1** atau **Tabel 10.4-1**, dengan memperhatikan batasan sistem dan ketinggian sesuai

dengan kategori disain seismik. Nilai R , Ω_0 dan C_d pada **Tabel 10.4-1** digunakan untuk menentukan gaya geser dasar, gaya-gaya disain elemen struktur, dan simpangan antar tingkat.

- b. Untuk struktur bangunan non gedung yang tidak menyerupai gedung, sistem struktur dipilih berdasarkan tipe struktur pada **Tabel 10.4-2**, dengan memperhatikan batasan sistem dan ketinggian, sesuai dengan kategori disain seismik. Nilai R , Ω_0 dan C_d pada **Tabel 10.4-2** digunakan untuk menentukan gaya geser dasar, gaya-gaya disain elemen struktur, dan simpangan antar tingkat.
 - c. Untuk struktur bangunan non gedung yang tidak tercantum pada **Tabel 10.4-1** atau **10.4-2**, maka kriteria disain harus menggunakan dokumen referensi khusus untuk struktur tersebut.
2. Untuk struktur bangunan non gedung dengan nilai R berdasarkan **Tabel 10.4-2**, maka nilai koefisien respons gempa (C_s) dalam Persamaan 7.8-5 harus diganti dengan:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \quad (10.4-1)$$

Nilai C_s tidak boleh diambil kurang dari 0,03

Dan untuk struktur bangunan non gedung yang berada pada daerah di mana $S_1 > 0.6g$, maka nilai C_s dalam Persamaan 7.8-6 harus diganti dengan

$$C_s = (0,8 S_1)/(R/I_e) \quad (10.4-2)$$

3. Faktor keutamaan, I_e , ditentukan sesuai dengan **Pasal 10.2.2**.
4. Distribusi gaya gempa dilakukan sesuai dengan ketentuan pada **Pasal 7.8.3** atau **Pasal 7.9**, atau sesuai dengan referensi khusus yang terkait.
5. Untuk struktur bangunan non gedung yang berisi cairan, gas, atau butiran padat, maka gaya gempa rencana tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan oleh referensi khusus untuk sistem tersebut
6. Gaya geser dasar dapat direduksi sesuai dengan **Bab 13** untuk memperhitungkan efek interaksi tanah-struktur. Nilai gaya geser yang telah direduksi tidak boleh kurang dari $0.7V$.
7. Kecuali dinyatakan lain dalam **Bab** ini, kombinasi pembebanan untuk struktur terhadap gaya gravitasi dan gaya gempa mengikuti kombinasi beban terfaktor pada **Pasal 4.3**

10.2.2 Faktor Keutamaan

Faktor keutamaan, I_e , dan kategori risiko bangunan non gedung, ditentukan berdasarkan bahaya relatif yang diakibatkan oleh isi dan fungsi bangunan tersebut. Nilai I_e diambil sebagai nilai terbesar dari yang ditentukan oleh nilai terbesar yang dipilih dalam Tabel 4.1-2, ketentuan pada beberapa pasal dalam **Bab 10**, serta dokumen referensi yang berlaku.

10.2.3 Struktur Bangunan Non Gedung Kaku

Struktur bangunan non gedung dengan perioda fundamental, T , kurang dari 0,06 detik, termasuk penambatannya, harus didisain untuk gaya lateral berikut:

$$V = 0,30 S_{DS} W I_e \quad (10.4-3)$$

di mana

V = Gaya Geser Dasar Total Rencana yang bekerja pada struktur bangunan non gedung

S_{DS} = Percepatan Spektra Disain, seperti yang ditentukan dari **Pasal 6.3**

W = Berat operasional struktur bangunan non gedung

I_e = Faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 10.2.2**

Gaya tersebut didistribusikan sepanjang tinggi bangunan sesuai dengan **Pasal 7.8.3**.

10.2.4 Beban

Berat efektif W untuk struktur bangunan non gedung harus memasukkan semua beban mati yang ada, serta mencakup semua muatan operasional untuk struktur, seperti tangki dan pipa beserta isinya.

10.2.5 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur bangunan non gedung ditentukan dengan menggunakan prosedur pada **Pasal 7.8.2**. Sebagai alternatif, periode fundamental, T , dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \quad (10.4-4)$$

Nilai f_i mewakili distribusi gaya lateral di sepanjang tinggi bangunan, dan deformasi elastik δ_i dihitung menggunakan gaya lateral f_i . Persamaan-persamaan 7.8-7, 7.8-8, 7.8-9, dan 7.8-10, tidak dapat digunakan untuk menghitung perioda fundamental dari struktur non gedung.

10.2.6 Persyaratan Simpangan

Persyaratan simpangan tidak berlaku untuk struktur bangunan non gedung jika analisis rasional membuktikan bahwa simpangan ijin dapat dilampaui tanpa mengurangi stabilitas struktur atau penghubungnya. Efek P-delta harus diperhitungkan jika simpangan dianggap berpengaruh terhadap fungsi bangunan atau stabilitas struktur.

10.2.7 Spektrum Respons Spesifik-Situs (*Site-Specific Response Spectra*)

Jika disyaratkan oleh referensi atau pihak yang berwenang, maka disain struktur bangunan non gedung dapat dilakukan berdasarkan kriteria spesifik situs yang meliputi kondisi geologi dan kegempaan lokal, perioda ulang, serta magnituda gempa yang diketahui.

TABEL 10.2-1 Koefisien Gempa untuk Struktur Non Gempa Serupa Gedung

Jenis struktur bangunan non gedung	Pasal di mana Persyaratan Pendetailan Ditetapkan	R	Ω_o	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Bangunan (m) ^{a,e}				
					A & B	C	D	E	F
Rak penyimpanan (struktur baja)	8.5.3	4	2	3,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem rangka gedung:									
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	7.1	3/4	2	3/4	TB	TB	10 ^b	10 ^b	10 ^b
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	7.1	2 1/2	2	2 1/2	TB	TB	48	48	30
Tanpa batasan ketinggian	7.1	1,5	1	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem rangka pemikul momen:					TB	TB			
Rangka baja pemikul momen khusus	7.1	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	5.2.5.5 dan 7.2	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja pemikul momen menengah	7.1	4,5	3	4	TB	TB	10 ^{c,d}	TI ^{c,d}	TI ^{c,d}
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	7.1	2,5	2	2,5	TB	TB	48	48	30
Tanpa batasan ketinggian	7.1	1,5	1	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	7.2	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	7.2	3	2	2,5	TB	TB	15	15	15
Tanpa batasan ketinggian	7.2	0,8	1	1	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja pemikul momen biasa	5.2.5.6 dan 7.1	3,5	3	3	TB	TB	TI ^{c,d}	TI ^{c,d}	TI ^{c,d}
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	5.2.5.6 dan 7.1	2,5	2	2,5	TB	TB	30	30	TI ^{c,d}
Tanpa batasan ketinggian	5.2.5.6 dan 7.1	1	1	1	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	7.2	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	7.2	0,8	1	1	TB	TB	15	15	15

^a TB = tidak ada batasan (*no limit*) dan TI = tidak diijinkan (*not permitted*). Ketinggian harus diukur dari dasar.

^b Rangka bresing baja biasa diijinkan penggunaannya untuk rak pipa sampai ketinggian 20 m.

^c Rangka momen baja biasa dan menengah diijinkan penggunaannya untuk rak pipa sampai ketinggian 20 m, dengan sambungan pemikul momen pada sambungan di lapangan terbuat dari plat ujung yang dibaut.

^d Rangka momen baja biasa dan menengah diijinkan penggunaannya untuk rak pipa sampai ketinggian 11 m.

^e Untuk keperluan penentuan batasan ketinggian, tinggi struktur diambil sebagai tinggi yang diukur sampai sisi atas rangka struktural yang merupakan sistem penahan beban gempa utama

TABEL 10.2-2 Koefisien Gempa untuk Struktur Non Gempa Tidak Serupa Gedung

Tipe Struktur bangunan non gedung	Pasal di mana Persyaratan Pendetailan Ditetapkan ^c	R	Ω_o	C_d	Sistem Struktur dan Batasan Ketinggian (m) ^{a,e}				
					A & B	C	D	E	F
Tangki, wadah, bak, atau <i>hopper</i>									
Sokongan dengan pengaku simetris (tidak serupa gedung)	8.7.10	3	2 ^b	2,5	TB	TB	48	30	30

Sokongan tidak berpengaku atau berpengaku tidak simetris (tidak serupa gedung)	8.7.10	2	2 ^b	2,5	TB	TB	30	18	18
Wadah baja horisontal yang dilas yang ditumpu dengan kuda-kuda	8.7.14	3	2 ^b	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Tangki atau wadah yang disokong oleh menara struktural serupa gedung	8.5.5	Gunakan nilai untuk tipe struktur yang sesuai di dalam kategori sistem rangka gedung dan sistem rangka penahan momen pada Tabel 8.4.1							
Tangki yang rata pada sisi bawah dan disokong oleh tanah:	8.7								
Baja atau plastik dengan penguat serat									
Diangkur secara mekanis		3	2 ^b	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Diangkur sendiri		2,5	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton bertulang atau prategang:					TB	TB	TB	TB	TB
Dasar tidak bergeser yang diperkuat		2	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang diangkur		3,25	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang tidak diangkur dan dikekang		1,5	1,5 ^b	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Jenis lainnya	1,5	1,5 ^b	1,5	TB	TB	TB	TB	TB	
Silo beton yang dicetak di lapangan, cerobong yang memiliki dinding yang menerus ke fondasi	8.6.2	3	1,75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur dinding bata yang diperkuat yang tidak serupa gedung.	7.4.1	3	2	2,5	TB	TB	TB	15	15
Semua struktur dinding bata tak diperkuat yang tidak serupa gedung.	7.4.1	1,25	2	1,5	TB	TB	15	15	15
Cerobong beton	8.6.2	2	1,5	2,0	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur kantilever baja dan beton bertulang dengan massa terdistribusi yang tidak serupa gedung, termasuk cerobong, silo, wadah dengan pedestal tunggal atau banyak	8.6.2 8.7.10 dan 8.7.10.5 a dan b	3	2	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
- Baja yang dilas	8.7.10	2	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
- Baja yang dilas dengan pendetailan khusus	8.7.10, dan 8.7.10.5.a dan b	3	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
- Beton prategang atau bertulang	8.7.10	2	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
- Beton prategang atau beton bertulang dengan pendetailan khusus	8.7.10 dan 7.2.3.6	3	2 ^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Menara rangka batang (berdiri bebas atau dipandu/diangkur/ <i>guyed</i>), cerobong diikat kabel dan cerobong biasa	8.6.2	3	2	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Menara pendingin					TB	TB	TB	TB	TB
Beton atau Baja		3,5	1,75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka kayu		3,5	3	3	TB	TB	TB	15	15
Menara telekomunikasi	8.6.6								
Rangka batang : baja		3	1,5	3	TB	TB	TB	TB	TB
Tiang : baja		1,5	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
kayu		1,5	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
beton		1,5	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka : baja		3	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
kayu		1,5	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
beton		2	1,5	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Struktur fasilitas rekreasi/hiburan dan monumen	8.6.3	2	2	2	TB	TB	TB	TB	TB
Struktur bertipe pendulum terbalik (kecuali tank, wadah, bak yang berada di ketinggian)	5.2.5.3	2	2	2	TB	TB	TB	TB	TB
Rambu- rambu dan papan reklame		3,5	1,75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur yang berdiri sendiri, tangki, dan wadah, yang serupa gedung, yang tidak tercakup diatas atau pada peraturan lainnya		1,25	2	2,5	TB	TB	15	15	15

^a TB = tidak ada batasan (*no limit*) dan TI = tidak diijinkan (*not permitted*). Ketinggian harus diukur dari dasar.

^b Lihat pasal 8.7.3a untuk penggunaan faktor kuat lebih, Ω_o , untuk tangki dan wadah.

^c Jika tidak ada pasal yang dicantumkan pada kolom ke-2, maka tidak diperlukan persyaratan pendetailan khusus.

^d Untuk keperluan penentuan batasan ketinggian, tinggi struktur dapat diambil sebagai tinggi yang diukur sampai sisi atas rangka struktural yang merupakan sistem penahan beban gempa utama

11. PROSEDUR RESPONS RIWAYAT WAKTU GEMPA

11.1. Prosedur Respons Riwayat Waktu Linier

Apabila prosedur respons riwayat waktu linier dilakukan maka persyaratan dalam Bab ini harus dipenuhi.

11.1.1 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 disain untuk situs yang bersangkutan. Analisis harus dilakukan sesuai dengan persyaratan-persyaratan pada Pasal berikut ini.

11.1.2 Pemodelan

Model matematis harus sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.7**.

11.1.3 Gerak Tanah

Paling sedikit tiga gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis. Gerak tanah yang digunakan harus memenuhi persyaratan-persyaratan dalam pasal berikut.

11.1.3.1 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 disain 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.

11.1.3.2 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 diskalakan 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 $0,2 T$ hingga $1,5 T$, nilai rata-rata spektrum SRSS dari semua pasang komponen horisontal tidak boleh kurang dari nilai ordinat terkait pada spektrum respons yang digunakan dalam disain, yang ditentukan sesuai dengan Pasal 6.4 atau 6.9.

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 MCE_R untuk rentang perioda dari $0,2T$ hingga $1,5T$.

11.1.4 Parameter Respons

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

- Parameter respons gaya harus dikalikan dengan I_e/R , di mana I_e adalah faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 4.1.2** dan R adalah Koefisien Modifikasi Respons yang ditentukan sesuai dengan **Pasal 7.2.1**
- Besaran simpangan antar lantai harus dikalikan dengan C_d/R , di mana C_d adalah faktor pembesaran defleksi seperti yang tercantum pada **Tabel 7.2-1**.

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 seperti yang didefinisikan pada **Pasal 7.8.6**

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 dalam **persamaan 7.8-4** atau bila berada di lokasi dengan S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, menggunakan nilai minimum C_s yang ditentukan dalam **persamaan 7.8-5**, maka gaya-gaya elemen struktur yang diskalakan, Q_{Ei} , harus diperbesar dengan faktor skala V/V_i di mana V adalah gaya geser dasar minimum yang ditentukan dengan menggunakan nilai minimum C_s dalam **persamaan 7.8-4**, atau bila berada di lokasi dengan S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, menggunakan nilai minimum C_s yang ditentukan dalam **persamaan 7.8-5**

Apabila nilai gaya geser dasar maksimum hasil analisis yang telah diskalakan, V_i , adalah kurang dari $0,85C_sW$, di mana C_s ditentukan dari **persamaan 7.8-5**, 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 **Pasal 7.4.2.1** dan simpangan antar lantai yang digunakan dalam evaluasi simpangan antar lantai sesuai dengan **Pasal 7.12.1** 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.

Dalam hal standar ini mensyaratkan ketentuan tentang pengaruh beban seismik, termasuk faktor kuat lebih **Pasal 7.4.3**, maka nilai $\Omega_0 Q_E$ tidak perlu diambil lebih besar dari nilai maksimum, Q_{Ei} , yang didapat dari analisis tanpa penyekalaan.

11.1.5 Distribusi Gaya Geser Horisontal

Distribusi gaya geser horisontal harus mengikuti ketentuan **Pasal 7.8.4** kecuali bahwa pembesaran torsi dalam ketentuan **7.8.4.3** tidak disyaratkan bila pengaruh torsi tak terduga sudah diperhitungkan dalam model analisis dinamis.

11.2. Prosedur Respons Riwayat Waktu Nonlinier

Apabila prosedur respons riwayat waktu non linier dilakukan maka persyaratan **Pasal 11.2** harus dipenuhi.

11.2.1 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 disain untuk situs yang ditinjau. Analisis harus dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam pasal berikut ini, dengan memperhatikan **Pasal 7.1.1** untuk pembatasan dalam penggunaan prosedur ini.

11.2.2 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 dengan persyaratan **Pasal 7.7.3** 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 seismik 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 (**Tabel 7.3-1**) 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 istem penahan gaya seismik, 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.

11.2.3 Gerak Tanah dan Pembebanan Lainnya

Gerak tanah harus mengikuti persyaratan **Pasal 11.1.3**. Struktur harus dianalisis terhadap pengaruh gerak tanah ini secara simultan dengan pengaruh beban mati yang dikombinasikan dengan paling sedikit 25 persen beban hidup yang disyaratkan.

11.2.4 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 disain 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} , Ψ_i , dan Δ_i yang diperoleh dari analisis. Apabila jumlah gerak tanah yang digunakan dalam analisis kurang dari tujuh, nilai-nilai disain 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.

11.2.4.1 Kuat Elemen

Kecukupan kekuatan elemen struktur untuk memikul kombinasi beban dalam **Pasal 7.4** tidak perlu dievaluasi.

PENGECUALIAN: Apabila standar ini mensyaratkan peninjauan pengaruh beban seismik dengan faktor kuat lebih sesuai **Pasal 7.4.3**, maka nilai maksimum Q_{Ei} yang didapat dari analisis ini harus digunakan sebagai pengganti besaran $\Omega_0 Q_E$.

11.2.4.2 Deformasi Elemen

Kecukupan elemen individu dan sambungannya untuk menahan nilai deformasi disain, 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.

11.2.4.3 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai, Δ_i , yang didapat dari analisis tidak boleh melebihi 125 persen batasan simpangan antar lantai yang disyaratkan dalam **Pasal 7.12.1**.

11.2.5 Penelaahan Disain

Penelaahan disain sistim penahan gaya seismik 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 disain harus mencakup, tetapi tidak terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelaahan setiap kriteria seismik spesifik-situs yang digunakan dalam analisis termasuk pengembangan spektrum spesifik-situs dan riwayat waktu gerak tanah.
2. 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.
3. Penelaahan hasil disain awal termasuk pemilihan sistem struktur dan konfigurasi elemen-elemen struktur
4. Penelaahan hasil disain akhir untuk seluruh sistem struktur dan analisis pendukungnya.

12. STRUKTUR DENGAN ISOLASI DASAR

12.1. Ruang Lingkup

Setiap struktur dengan isolasi seismik dan setiap bagiannya harus dirancang dan dibangun sesuai dengan persyaratan-persyaratan di bab ini dan ketentuan yang berlaku dalam standar ini.

12.1.1 Variasi Properti Material

Analisis struktur dengan isolasi gempa, termasuk struktur bawah, isolator, dan struktur atas, harus mempertimbangkan berbagai variasi properti material isolator gempa selama masa pakai rencana struktur, termasuk perubahan-perubahan akibat waktu, kontaminasi, pengaruh lingkungan, laju pembebanan, *scragging*, dan suhu.

12.2. Persyaratan Perencanaan Umum

12.2.1 Faktor Keutamaan

Semua bagian struktur, termasuk struktur di atas sistem isolasi, harus dirancang dengan kategori risiko sesuai dengan **Tabel 4.1-2**. Faktor keutamaan, I_e harus diambil sebesar 1,0 untuk struktur dengan isolasi seismik, tanpa membedakan kategori risiko yang diterapkan.

12.2.2 Parameter Percepatan Respons Spektral MCE_R , S_{MS} dan S_{MI}

Parameter percepatan respons spektral MCE_R , S_{MS} dan S_{MI} harus ditentukan sesuai dengan **Pasal 6.2**.

12.2.3 Konfigurasi

Setiap struktur harus ditetapkan sebagai struktur beraturan atau tidak beraturan berdasarkan konfigurasi struktural di atas sistem isolasi.

12.2.4 Sistem Isolasi

12.2.4.1 Kondisi Lingkungan

Selain persyaratan-persyaratan untuk beban-beban vertikal dan lateral akibat angin dan gempa, sistem isolasi harus memperhitungkan keadaan lingkungan lainnya, termasuk pengaruh usia, rangkai, lelah (*fatigue*), suhu operasional, dan pengaruh dari kelembaban atau bahan-bahan lain yang merusak.

12.2.4.2 Beban Angin

Struktur yang diisolasi harus menahan beban angin rencana di semua tingkat di atas batas pemisahan isolasi. Di batas pemisahan isolasi, suatu sistem pengekang angin harus disediakan untuk membatasi perpindahan lateral sistem isolasi, agar nilainya sama dengan yang disyaratkan antara tingkat-tingkat struktur di atas pemisahan isolasi, seperti yang disyaratkan pada **Pasal 12.5.6**.

12.2.4.3 Ketahanan Kebakaran

Ketahanan sistem isolasi terhadap kebakaran harus sesuai dengan syarat untuk kolom-kolom, dinding-dinding, dan elemen-elemen penahan beban gravitasi lainnya di daerah yang sama pada struktur.

12.2.4.4 Gaya Pemulih Lateral

Sistem isolasi harus dikonfigurasi untuk menghasilkan suatu gaya pemulih sedemikian sehingga gaya lateral pada saat perpindahan rencana total adalah sekurang-kurangnya 0,025*W* lebih besar dari gaya lateral yang terjadi pada 50 persen dari perpindahan rencana total.

12.2.4.5 Pengekangan Perpindahan

Sistem isolasi tidak boleh dikonfigurasi untuk mencakup suatu pengekangan perpindahan yang membatasi perpindahan lateral akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan yang lebih kecil daripada perpindahan maksimum total, kecuali jika struktur dengan isolasi seismik direncanakan sesuai dengan kriteria berikut ini, yang lebih ketat daripada persyaratan di **Pasal 12.2**:

1. Respons gempa maksimum yang dipertimbangkan dihitung menurut persyaratan analisis dinamik pada **Pasal 12.6**, secara khusus mempertimbangkan karakteristik-karakteristik non-linier dari sistem isolasi dan struktur di atas sistem isolasi.
2. Kapasitas ultimit sistem isolasi dan elemen-elemen struktural yang berada di bawah sistem isolasi harus melampaui kebutuhan kekuatan dan perpindahan dari gempa maksimum yang dipertimbangkan.
3. Struktur di atas sistem isolasi ditinjau stabilitas dan kebutuhan daktilitas dari gempa maksimum yang dipertimbangkan.

4. Pengekangan perpindahan menjadi tidak efektif pada suatu perpindahan yang lebih kecil dari 0,75 kali perpindahan rencana total, kecuali jika dapat dibuktikan dengan analisis bahwa pemasangan sebelumnya menghasilkan kinerja yang memuaskan.

12.2.4.6 Stabilitas Beban Vertikal

Setiap elemen sistem isolasi harus direncanakan agar stabil akibat beban vertikal rencana yang mengalami suatu perpindahan horisontal sama dengan perpindahan maksimum total. Beban vertikal rencana harus dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan 5 dari **Pasal 4.2.2** untuk beban vertikal maksimum dan kombinasi pembebanan 7 dari **Pasal 7.4.2.3** untuk beban vertikal minimum, di mana S_{DS} dalam persamaan ini diganti dengan S_{MS} . Beban vertikal yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal, Q_E , harus didasarkan pada respons puncak akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan.

12.2.4.7 Guling

Faktor keamanan terhadap guling struktur secara keseluruhan di batas pemisahan isolasi tidak boleh kurang dari 1,0 untuk kombinasi pembebanan yang disyaratkan. Semua kondisi pembebanan gravitasi dan seismik harus ditinjau. Gaya-gaya gempa untuk perhitungan guling harus berdasarkan gempa maksimum yang dipertimbangkan, dan W harus digunakan untuk gaya pemulih vertikal.

Terangkatnya elemen-elemen secara individu tidak diperbolehkan, kecuali jika lendutan yang dihasilkan tidak menyebabkan tegangan berlebih atau ketidak-stabilan unit isolator atau elemen struktur lainnya.

12.2.4.8 Pemeriksaan dan Penggantian

- a. Jalan/akses untuk pemeriksaan dan penggantian semua komponen-komponen sistem isolasi harus disediakan.
- b. Seorang perencana profesional terdaftar harus menyelesaikan suatu rangkaian pemeriksaan atau pengamatan di daerah-daerah pemisahan struktur dan komponen-komponen yang melintasi batas pemisahan isolasi sebelum mengeluarkan sertifikat layak huni untuk struktur dengan isolasi seismik. Pemeriksaan dan pengamatan tersebut harus mengindikasikan bahwa keadaan memungkinkan struktur untuk berpindah bebas dan tanpa rintangan pada tingkat perpindahan rencana maksimum. Semua komponen yang melintas di batas pemisahan isolasi seperti yang terpasang dapat memikul perpindahan yang ditetapkan.
- c. Struktur dengan isolasi seismik harus mempunyai suatu program pengawasan, pemeriksaan dan perawatan secara berkala terhadap sistem isolasi yang dilakukan oleh perencana profesional terdaftar yang bertanggung jawab terhadap perencanaan sistem isolasi.
- d. Pemodelan kembali, perbaikan, atau retrofitting di batas pemisahan sistem isolasi, termasuk komponen-komponen yang melintasi batas pemisahan isolasi, harus dilakukan di bawah pengarahan seorang perencana profesional terdaftar.

12.2.4.9 Kendali Mutu

Suatu program pengujian kendali mutu unit isolator harus dilakukan oleh perencana profesional terdaftar yang bertanggung jawab untuk perencanaan struktural.

12.2.5 Sistem Struktural

12.2.5.1 Distribusi Gaya Horisontal

Suatu diafragma horisontal atau elemen-elemen struktural lainnya harus memberikan kontinuitas di atas pemisahan isolasi dan harus mempunyai kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk meneruskan gaya-gaya (akibat gerak tanah yang tidak seragam) dari satu bagian struktur ke bagian lainnya.

12.2.5.2 Pemisahan Bangunan

Jarak pemisahan minimum antara struktur dengan isolasi seismik dengan dinding penahan di sekeliling bangunan atau penghalang tetap lainnya tidak boleh kurang dari perpindahan maksimum total.

12.2.5.3 Struktur Bangunan Non Gedung

Struktur bangunan non gedung harus direncanakan dan dibangun sesuai dengan persyaratan di **Bab 10** dengan menggunakan perpindahan dan gaya rencana yang dihitung menurut **Pasal 12.5 atau 12.6**.

12.2.6 Elemen-elemen Struktural dan Nonstruktural

Bagian-bagian dari suatu struktur dengan isolasi, komponen-komponen nonstruktural yang permanen dan bagian yang tersambung dengannya, dan penyambung peralatan permanen yang ditumpu oleh suatu struktur, harus direncanakan untuk menahan gaya-gaya dan perpindahan-perpindahan seismik seperti yang ditentukan dalam bagian ini dan persyaratan-persyaratan yang ada dalam **Bab 9**.

12.2.6.1 Komponen-komponen di Batas atau di Atas Pemisah Isolasi

Elemen-elemen suatu struktur yang menggunakan sistem isolasi dan komponen nonstruktural, atau bagiannya yang berada di batas atau di atas pemisah isolasi harus direncanakan untuk menahan gaya lateral seismik total setara dengan respons dinamik maksimum dari elemen atau komponen yang ditinjau.

PENGEUALIAN: Elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang direncanakan untuk menahan gaya dan perpindahan seperti disyaratkan di **Bab 7** atau **9**.

12.2.6.2 Komponen-komponen yang Melintasi Batas Pemisah Isolasi

Elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang melintasi batas pemisah isolasi harus direncanakan untuk dapat menahan perpindahan maksimum total.

12.2.6.3 Komponen-komponen di Bawah Pemisah Isolasi

Elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang terletak di bawah pemisah isolasi, harus direncanakan dan dibangun menurut persyaratan-persyaratan **Pasal 7.1** dan **Bab 9**.

12.3. Gerak Tanah untuk Sistem Isolasi

12.3.1 Spektrum Rencana

Tata cara penentuan gerak tanah spesifik-situs yang ditetapkan dalam **Bab 6**, boleh digunakan untuk menentukan gerak tanah untuk semua jenis struktur. Untuk struktur dengan Kelas Situs SF, analisis respons situs harus dilakukan sesuai dengan **Pasal 6.9.1**. Untuk struktur dengan isolasi seismik yang dibangun di situs dengan $S_I \geq 0.6$, suatu analisis bahaya gerak tanah harus dilakukan sesuai dengan **Pasal 6.9.2**. Struktur-struktur yang tidak membutuhkan atau menggunakan tata cara penentuan gerak tanah spesifik-situs, harus dianalisis dengan menggunakan spektrum rencana untuk gempa rencana yang dibuat sesuai dengan **Bab 6**.

Suatu spektrum rencana harus dibuat untuk gerak tanah MCE_R . Spektrum untuk gerak tanah MCE_R ini harus tidak boleh kurang dari 1.5 kali spektrum untuk gerak tanah gempa rencana.

12.3.2 Riwayat Gerak Tanah

Jika prosedur riwayat respons digunakan, rekaman gerak tanah harus terdiri dari pasangan komponen-komponen percepatan gerak tanah horisontal yang sesuai, yang ditentukan di **Pasal 11.1.3.2**, dengan catatan $0.2T$ dan $1.5T$ diganti masing-masing menjadi $0.5T_D$ dan $1.25T_M$, di mana T_D dan T_M dideskripsikan di **Pasal 12.5.3**.

12.4. Pemilihan Prosedur Analisis

Struktur dengan isolasi seismik, kecuali yang ditentukan di **Pasal 12.4.1**, harus direncanakan dengan menggunakan prosedur dinamis sesuai **Pasal 12.6**.

12.4.1 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

Prosedur gaya lateral ekuivalen di **Pasal 12.5** boleh digunakan untuk perencanaan struktur dengan isolasi seismik dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Struktur terletak di situs dengan S_I kurang atau sama dengan 0.60g.
2. Struktur terletak pada Kelas Situs SA, SB, SC, atau SD
3. Tinggi struktur di atas pemisah isolasi kurang atau sama dengan 4 lantai, atau 19.8 m dari tinggi struktur, h_n , diukur dari dasar seperti yang dideskripsikan di **Bab 3**.
4. Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan maksimum, T_M , kurang atau sama dengan 3.0 detik.
5. Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan rencana, T_D , lebih besar dari 3 kali periode elastik struktur terjepit dari struktur di atas sistem isolasi, seperti ditentukan dalam **persamaan 7.8-7** atau **7.8-8**.

6. Konfigurasi struktur di atas sistem isolasi adalah beraturan.
7. Sistem isolasi harus memenuhi semua kriteria sebagai berikut:
 - a. Kekakuan efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana lebih besar dari 1/3 kekakuan efektif pada saat 20 persen perpindahan rencana.
 - b. Sistem isolasi mampu menghasilkan suatu gaya pemulih seperti disebutkan dalam **Pasal 12.2.4.4**.
 - c. Sistem isolasi tidak membatasi perpindahan gempa maksimum yang dipertimbangkan lebih kecil dari perpindahan maksimum total.

12.4.2 Prosedur Dinamis

Prosedur dinamis di **Pasal 12.6** dapat digunakan sesuai dengan yang dijelaskan dalam bagian ini.

12.4.2.1 Prosedur Spektrum Respons

Analisis spektrum respons tidak boleh digunakan untuk merencanakan struktur dengan isolasi seismik.

PENGECEUALIAN:

1. Struktur terletak di Kelas Situs SA, SB, SC, atau SD
2. Sistem isolasi memenuhi kriteria no. 7 di **Pasal 12.4.1**.

12.4.2.2 Prosedur Riwayat Respons

Prosedur riwayat respons boleh digunakan untuk perencanaan semua struktur dengan isolasi seismik dan harus digunakan untuk perencanaan semua struktur dengan isolasi seismik yang tidak memenuhi kriteria di **Pasal 12.4.2.1**.

12.5. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

12.5.1 Umum

Jika prosedur gaya lateral ekuivalen digunakan untuk merencanakan struktur dengan isolasi seismik, persyaratan-persyaratan dalam bagian ini harus diterapkan.

12.5.2 Karakteristik Deformasi Sistem Isolasi

Perpindahan dan gaya lateral gempa rencana minimum untuk struktur dengan isolasi seismik harus berdasarkan karakteristik-karakteristik deformasi sistem isolasi. Karakteristik-karakteristik deformasi sistem isolasi harus memasukkan pengaruh sistem pengekang angin jika sistem tersebut digunakan untuk memenuhi persyaratan-persyaratan perencanaan yang tercantum dalam peraturan ini. Karakteristik-karakteristik deformasi sistem isolasi harus didukung dengan pengujian yang dilakukan sesuai dengan **Pasal 12.8**.

12.5.3 Perpindahan Lateral Minimum

12.5.3.1 Perpindahan Rencana

Sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan perpindahan gempa lateral minimum, D_D , yang bekerja pada setiap arah sumbu horisontal utama struktur sesuai dengan persamaan berikut:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (12.5-1)$$

di mana

- g = percepatan gravitasi. Satuan g adalah mm/det^2 jika satuan untuk perpindahan rencana, D_D , dalam mm
- S_{D1} = parameter percepatan spektral rencana dengan redaman 5 persen pada perioda 1 detik dengan satuan g seperti yang ditentukan dalam **Pasal 6.6.4**
- T_D = perioda efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam **Persamaan 12.5-2**
- B_D = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana, β_D , seperti yang diatur dalam **Tabel 12.5-1**

Tabel 12.5-1 Koefisien redaman, B_D atau B_M

Redaman Efektif, β_D atau β_M	Faktor B_D atau B_M
---	-------------------------

(persentase dari redaman kritis) ^{a,b}	
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

^a koefisien redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi yang ditentukan menurut persyaratan-persyaratan di Pasal 12.8.5.2.

^b koefisien redaman harus berdasarkan interpolasi linier untuk nilai redaman efektif di antara nilai-nilai yang diberikan di atas.

12.5.3.2 Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Rencana

Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan rencana, T_D , harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi sistem isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\min} g}} \quad (12.5-2)$$

di mana

W = berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan di **Pasal 7.7.2**

$k_{D\min}$ = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada perpindahan rencana di arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam **Persamaan 12.8-4**

g = percepatan gravitasi

12.5.3.3 Perpindahan Maksimum

Perpindahan maksimum sistem isolasi, D_M , pada arah yang paling menentukan dari respons horisontal harus dihitung sesuai dengan persamaan berikut:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (12.5-3)$$

di mana

g = percepatan gravitasi

S_{M1} = parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5 persen pada periode 1 detik dengan satuan g seperti yang ditentukan dalam **Pasal 6.4.2**

T_M = periode efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan.

B_M = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum, β_M , seperti yang diatur dalam **Tabel 12.5-1**

12.5.3.4 Periode Efektif pada saat Perpindahan Maksimum

Periode efektif struktur yang diisolasi pada perpindahan maksimum, T_M , harus ditentukan dengan menggunakan karakteristik deformasi sistem isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M\min} g}} \quad (12.5-4)$$

di mana

W = berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan di **Pasal 11.7.2** (kN)

$k_{M\min}$ = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dalam kN/mm, pada saat perpindahan maksimum di arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam **persamaan 12.8-6**

g = percepatan gravitasi

12.5.3.5 Perpindahan Total

Perpindahan rencana total, D_{TD} , dan total perpindahan maksimum, D_{TM} , dari elemen-elemen sistem isolasi harus menyertakan perpindahan tambahan akibat torsi sesungguhnya dan torsi tak terduga, dihitung dari distribusi spasial kekakuan lateral sistem isolasi dan lokasi massa eksentrik yang paling tidak menguntungkan.

Perpindahan rencana total, D_{TD} , dan perpindahan maksimum total, D_{TM} , dari elemen-elemen sistem isolasi dengan distribusi spasial kekakuan lateral yang seragam tidak boleh diambil kurang dari nilai yang ditentukan oleh persamaan-persamaan berikut:

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (12.5-5)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (12.5-6)$$

di mana

D_D = perpindahan rencana di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **Persamaan 12.5-1**

D_M = perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **Persamaan 12.5-3**

y = jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban gempa yang ditinjau

e = eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, dalam mm, diambil sebesar 5 persen dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau

b = ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus terhadap d

d = ukuran terpanjang denah struktur

PENGECEUALIAN: Perpindahan rencana total, D_{TD} , dan perpindahan maksimum total, D_{TM} , masing-masing boleh diambil kurang dari nilai yang ditentukan, tetapi tidak kurang dari 1.1 kali D_D dan D_M , jika perhitungan menunjukkan bahwa sistem isolasi dikonfigurasi untuk menahan torsi.

12.5.4 Gaya Lateral Minimum

12.5.4.1 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum, V_b , dengan menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan sesuai dengan persamaan berikut.

$$V_b = k_{D_{max}} D_D \quad (12.5-7)$$

di mana

$k_{D_{max}}$ = kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau

D_D = perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **Persamaan 12.5-1**

V_b tidak boleh diambil kurang dari gaya maksimum di sistem isolasi untuk perpindahan sembarang sampai dengan dan termasuk perpindahan rencana.

12.5.4.2 Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya geser minimum, V_s , menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi, dan sesuai persamaan berikut:

$$V_s = \frac{k_{D_{max}} D_D}{R_I} \quad (12.5-8)$$

di mana

k_{Dmax} = kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau

D_D = perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **Persamaan 12.5-1**

R_I = koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gaya gempa di atas sistem isolasi

Faktor R_I harus berdasarkan pada tipe sistem penahan gaya gempa yang digunakan untuk struktur di atas sistem isolasi dan harus bernilai $3/8$ dari nilai R yang diberikan oleh **Tabel 7.4-1**, dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0.

12.5.4.3 Batas V_s

Nilai V_s tidak boleh diambil kurang dari batasan berikut ini:

1. Gaya gempa lateral yang disyaratkan dalam **Pasal 7.8** untuk struktur yang terjepit di dasar dengan berat gempa efektif, W , yang sama, dan periodanya sama dengan perioda struktur dengan isolasi seismik, T_D .
2. Gaya geser dasar untuk beban angin rencana terfaktor.
3. Gaya gempa lateral yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi secara penuh (misal: tingkat leleh dari suatu sistem yang melunak (*softening system*), kapasitas ultimit suatu sistem pengekang angin, atau tingkat friksi lepas dari suatu sistem gelincir (*the break-away friction level of a sliding system*)) dikalikan dengan faktor 1.5.

12.5.5 Distribusi Vertikal Gaya

Gaya geser V_s harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas batas pemisah isolasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (12.5-9)$$

di mana

F_x = bagian V_s yang bekerja di Tingkat x

V_s = gaya gempa lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan

w_x = bagian dari W yang ditempatkan/dipasang di Tingkat x

h_x = tinggi Tingkat x dari dasar

Di setiap tingkat x, gaya F_x , harus diterapkan di seluruh daerah struktur sesuai dengan distribusi massa di tingkat tersebut.

12.5.6 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0.015h_{sx}$. Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan **Persamaan 7.8-15** dengan faktor C_d dari sistem isolasi sama dengan faktor R_I yang ditentukan di Pasal 9.5.4.2.

12.6. Prosedur Analisis Dinamis

12.6.1 Umum

Jika analisis dinamis digunakan untuk merencanakan struktur dengan isolasi seismik, persyaratan-persyaratan dalam bagian ini berlaku.

12.6.2 Pemodelan

Model matematis struktur dengan isolasi, termasuk sistem isolasi, sistem penahan gaya gempa, dan elemen-elemen struktural lainnya harus memenuhi **Pasal 7.7.3** dan persyaratan-persyaratan di Pasal **12.6.2.1** dan **12.6.2.2**.

12.6.2.1 Sistem Isolasi

Sistem isolasi harus dimodelkan menggunakan karakteristik deformasi yang dikembangkan dan diverifikasi dengan pengujian sesuai dengan persyaratan pada Pasal 12.5.2. Sistem isolasi harus dimodelkan dengan detail yang memadai untuk:

- a. Memperhitungkan distribusi spasial unit-unit isolator.
- b. Menghitung translasi di kedua arah horisontal, dan torsi struktur di atas pemisah isolasi dengan mempertimbangkan lokasi massa eksentris yang paling tidak menguntungkan.
- c. Mengkaji gaya guling/angkat pada masing-masing unit isolator.
- d. Memperhitungkan pengaruh beban vertikal, beban bilateral, dan/atau laju pembebanan jika properti gaya-lendutan sistem isolasi tergantung dari satu atau lebih dari karakteristik-karakteristik ini.

Perpindahan rencana total dan perpindahan maksimum total yang di seluruh sistem isolasi harus dihitung dengan menggunakan suatu model struktur dengan isolasi yang memasukan karakteristik-karakteristik gaya-lendutan elemen-elemen non-linier dari sistem isolasi dan sistem penahan gaya gempa.

12.6.2.2 Struktur dengan Isolasi

Perpindahan maksimum di setiap lantai, dan gaya dan perpindahan rencana di elemen-elemen sistem penahan gaya gempa boleh dihitung menggunakan model elastis-linier struktur dengan isolasi jika kedua kondisi berikut terpenuhi:

1. Properti kekakuan yang diasumsikan untuk komponen-komponen non-linier dari sistem isolasi didasarkan pada kekakuan efektif maksimum dari sistem isolasi.
2. Semua elemen-elemen sistem penahan gaya gempa dari struktur di atas sistem isolasi tetap elastis untuk gempa rencana.

Sistem penahan gaya gempa dengan elemen-elemen elastis meliputi, tetapi tidak terbatas pada, sistem struktur yang tidak beraturan yang direncanakan untuk gaya lateral tidak kurang dari 100 persen V_s , dan sistem struktur yang beraturan yang direncanakan untuk gaya lateral tidak kurang dari 80 persen V_s . Besarnya V_s ditentukan sesuai dengan **Pasal 12.5.4.2**.

12.6.3 Penjelasan Prosedur

12.6.3.1 Umum

Prosedur spektrum respons dan riwayat respons harus dilakukan sesuai dengan **Pasal 7.9** dan **Bab 11**, serta persyaratan-persyaratan di bagian ini.

12.6.3.2 Data Gempa

Gerak tanah gempa rencana harus digunakan untuk menghitung perpindahan rencana total sistem isolasi, dan gaya-gaya lateral serta perpindahan-perpindahan pada struktur dengan isolasi. Gempa maksimum yang dipertimbangkan harus digunakan untuk menghitung perpindahan maksimum total dari sistem isolasi.

12.6.3.3 Prosedur Spektrum Respons

Analisis spektrum respons harus dilakukan dengan menggunakan suatu nilai redaman ragam untuk ragam fundamental di arah yang ditinjau tidak lebih besar dari nilai yang terkecil dari redaman efektif sistem isolasi atau 30 persen redaman kritis. Nilai redaman ragam untuk ragam-ragam yang lebih tinggi harus dipilih konsisten dengan redaman yang sesuai untuk analisis spektrum respons struktur di atas sistem isolasi yang diasumsikan terjepit di dasarnya.

Analisis spektrum respons yang digunakan untuk menentukan perpindahan rencana total dan perpindahan maksimum total harus menyertakan model yang digetarkan bersamaan (simultan) oleh 100 persen gerak tanah di arah kritis dan 30 persen gerak tanah di arah tegak lurusnya, di arah horisontal. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung sebagai penjumlahan vektor perpindahan ortogonal dari dua arah tersebut.

Gaya geser rencana di setiap tingkat tidak boleh kurang dari gaya geser tingkat yang dihitung dengan menggunakan **Persamaan 12.5-9** dan suatu nilai V_s yang sama dengan gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis spektrum respons di arah yang ditinjau.

12.6.3.4 Prosedur Riwayat Respons

Jika prosedur riwayat respons dilakukan, tidak kurang dari 3 pasang gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis, dan pasangan gerak tanah harus dipilih dan diskala sesuai dengan **Pasal 12.3.2**.

Setiap pasang komponen gerak tanah harus diterapkan secara bersamaan (simultan) pada model dengan mempertimbangkan lokasi massa yang dengan eksentrisitas yang paling tidak menguntungkan. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung dari penjumlahan vektor perpindahan-perpindahan ortogonal dari dua arah pada setiap tahapan waktu.

Parameter-parameter terkait harus dihitung untuk setiap gerak tanah yang digunakan untuk analisis riwayat respons. Jika 7 pasang gerak tanah atau lebih digunakan untuk analisis riwayat respons, nilai rata-rata respons parameter yang terkait boleh digunakan untuk disain. Jika gerak tanah yang digunakan untuk analisis kurang dari 7 pasang, maka nilai maksimum dari parameter respons yang terkait harus digunakan untuk disain.

12.6.4 Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum

12.6.4.1 Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi

Sistem isolasi, fondasi, dan semua elemen-elemen struktural di bawah sistem isolasi harus direncanakan dengan menggunakan semua persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan gaya-gaya diperoleh dari analisis dinamis tanpa pengurangan (reduksi), tetapi gaya lateral rencana harus diambil tidak kurang dari 90 persen V_b yang ditentukan sesuai dengan **Persamaan 12.5-7**.

Perpindahan rencana total dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 90 persen D_{TD} seperti yang ditentukan dalam **Pasal 12.5.3.5**. Perpindahan maksimum total dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 80 persen D_{TM} seperti yang ditentukan dalam **Pasal 12.5.3.5**.

Batasan perpindahan yang ditetapkan dalam pasal ini harus dievaluasi dengan menggunakan nilai D_{TD} dan D_{TM} seperti yang ditentukan dalam **Pasal 12.5.5** kecuali jika D'_D diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti D_D dan D'_M diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti D_M seperti ditentukan berikut:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (12.6-1)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (12.6-2)$$

di mana

- D_D = perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **persamaan 12.5-1**
- D_M = perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh **persamaan 12.5-3**
- T = periode elastis struktur terjepit di dasarnya, di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan di **Pasal 7.8.2**
- T_D = periode efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam **persamaan 12.5-2**
- T_M = periode efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam **persamaan 12.5-4**

12.6.4.2 Elemen-Elemen Struktural di Atas Sistem Isolasi

Sesuai dengan batasan khusus prosedur di bagian ini, elemen-elemen struktur di atas sistem isolasi harus direncanakan dengan menggunakan persyaratan-persyaratan yang sesuai untuk struktur tanpa isolasi dan gaya-gaya yang diperoleh dari analisis dinamis dibagi dengan faktor R_f seperti yang ditentukan sesuai **Pasal 12.5.4.2**. Gaya geser lateral rencana struktur di atas sistem isolasi, jika konfigurasi struktur beraturan, tidak boleh diambil kurang dari 80 persen V_s , atau kurang dari batasan yang ditetapkan dalam **Pasal 12.5.4.3**.

PENGEUALIAN: Untuk konfigurasi struktur beraturan, gaya geser lateral rencana struktur di atas sistem isolasi boleh diambil kurang dari 80 persen tetapi tidak boleh kurang dari 60 persen V_s , jika prosedur riwayat respons digunakan untuk analisis struktur dengan isolasi seismik.

Gaya geser lateral rencana struktur di atas sistem isolasi, jika konfigurasi struktur tidak beraturan, tidak boleh diambil kurang dari V_s , atau kurang dari batas-batas yang ditetapkan dalam **Pasal 12.5.4.3**.

PENGECUALIAN: Untuk konfigurasi struktur tidak beraturan, gaya geser lateral rencana struktur di atas sistem isolasi boleh diambil kurang dari 100 persen tetapi tidak boleh kurang dari 80 persen V_s , jika prosedur riwayat respons digunakan untuk analisis struktur dengan isolasi seismik.

12.6.4.3 Penskalaan Hasil

Jika gaya geser lateral terfaktor di elemen-elemen struktural yang ditentukan dengan menggunakan prosedur spektrum respons atau riwayat respons lebih kecil dari pada nilai-nilai minimum yang ditetapkan di **Pasal 12.6.4.1** dan **12.6.4.2**, semua parameter-parameter respons, termasuk gaya dan momen elemen, harus diskalakan ke atas secara proporsional.

12.6.4.4 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai maksimum yang berkaitan dengan gaya lateral rencana termasuk perpindahan akibat deformasi vertikal dari sistem isolasi tidak boleh melebihi batasan berikut ini:

1. Simpangan antar lantai maksimum dari struktur di atas sistem isolasi yang dihitung dengan analisis spektrum respons tidak boleh melebihi $0.015h_{sx}$.
2. Simpangan antar lantai maksimum struktur di atas sistem isolasi yang dihitung dengan menggunakan analisis riwayat respons berdasarkan karakteristik gaya-lendutan dari elemen-elemen non-linier sistem penahan gaya gempa tidak boleh melebihi $0.020h_{sx}$.

Simpangan antar lantai harus dihitung dengan menggunakan **persamaan 7.8-15** dengan faktor C_d dari struktur dengan isolasi sama dengan faktor R_I yang ditetapkan di **Pasal 12.5.4.2**.

Pengaruh sekunder perpindahan lateral gempa maksimum yang dipertimbangkan dari struktur di atas sistem isolasi, dikombinasikan dengan gaya-gaya gravitasi harus ditinjau jika simpangan antar lantai melebihi $0.010/R_I$.

12.7. Peninjauan Kembali Perencanaan

Suatu peninjauan kembali perencanaan sistem isolasi dan program-program pengujian yang terkait harus dilakukan oleh suatu tim ahli yang independen, berlisensi yang sesuai dengan bidang ilmu, dan berpengalaman dalam metode-metode analisis gempa, dan teori dan penerapan sistem isolasi. Peninjauan kembali perencanaan sistem isolasi harus termasuk, tetapi tidak dibatasi, berikut ini:

1. Peninjauan kembali kriteria seismik spesifik-situs, termasuk pengembangan spektrum spesifik-situs dan riwayat gerak tanah dan semua kriteria perencanaan lainnya yang terkait.
2. Peninjauan kembali perencanaan awal, termasuk penentuan perpindahan rencana total, perpindahan maksimum total, dan tingkat gaya lateral.
3. Peninjauan dan pengamatan dari pengujian prototipe (**Pasal 12.8**).
4. Peninjauan kembali perencanaan akhir dari seluruh sistem struktural dan semua analisis-analisis pendukung.
5. Peninjauan kembali program pengujian kendali mutu sistem isolasi.

12.8. Pengujian

12.8.1 Umum

Karakteristik deformasi dan nilai redaman sistem isolasi yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur yang diisolasi secara seismik harus didasarkan pada pengujian dari contoh komponen-komponen yang dipilih sebelum pembangunan seperti yang diuraikan dalam bagian ini.

Komponen-komponen sistem isolasi yang akan diuji harus menyertakan sistem pengekang angin jika sistem tersebut digunakan dalam perencanaan.

Pengujian yang diuraikan dalam bagian ini digunakan untuk menetapkan dan mengesahkan properti rencana dari sistem isolasi dan tidak boleh dianggap untuk memenuhi pengujian kendali mutu pembuatan seperti yang dimuat di **Pasal 12.2.4.9**.

12.8.2 Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe harus dilakukan terpisah pada dua benda uji (atau rangkaian benda uji yang sesuai) dengan ukuran sesungguhnya dari setiap jenis dan ukuran unit isolator utama dari sistem isolasi. Benda uji harus termasuk sistem pengekang angin serta unit isolator tunggal jika sistem tersebut digunakan dalam perencanaan. Benda uji yang digunakan dalam pengujian tidak boleh digunakan untuk pembangunan, kecuali diijinkan oleh ahli perencanaan profesional terdaftar dan otoritas yang berwenang.

12.8.2.1 Rekaman

Untuk setiap siklus dari setiap pengujian, perilaku gaya-lendutan dan histeresis benda uji harus direkam.

12.8.2.2 Urutan dan Siklus

Urutan pengujian berikut ini harus dilakukan untuk jumlah siklus yang ditetapkan pada suatu beban vertikal yang sama dengan beban mati rata-rata ditambah $\frac{1}{2}$ kali pengaruh beban hidup di semua unit isolator dengan jenis dan ukuran yang sama:

1. 20 siklus pembebanan bolak balik secara penuh pada gaya lateral yang sama dengan gaya angin rencana.
2. 3 siklus pembebanan bolak balik secara penuh di setiap penambahan perpindahan rencana total berikut ini, $0,25D_D$, $0,5D_D$, $1,0D_D$, dan $1,0D_M$, di mana D_D dan D_M masing-masing ditentukan dalam **Pasal 12.5.3.1** dan **12.5.3.3**, atau **Pasal 12.6** yang sesuai.
3. 3 siklus pembebanan bolak balik secara penuh pada perpindahan maksimum total, $1,0 D_{TM}$.
4. $30S_{D1}/S_{DS} B_D$, tetapi tidak kurang dari 10, siklus pembebanan bolak balik secara penuh pada saat 1,0 kali perpindahan rencana total, $1,0D_{TD}$.

Jika suatu unit isolator juga sebagai suatu elemen pemikul beban vertikal, maka butir 2 dari urutan pengujian siklik seperti yang ditentukan di atas harus dilakukan untuk dua kombinasi pembebanan vertikal tambahan seperti yang ditentukan di **Pasal 12.2.4.6**. Penambahan beban untuk guling akibat gempa, Q_E , harus sama dengan atau lebih besar dari respons gaya vertikal gempa puncak yang terkait dengan perpindahan yang dievaluasi pada pengujian. Dalam pengujian ini, beban vertikal yang dikombinasikan harus diambil sebagai gaya ke arah bawah tipikal atau rata-rata dari semua unit isolator dengan jenis dan ukuran yang sama.

12.8.2.3 Isolator yang Bergantung pada Laju Pembebanan

Jika properti gaya-lendutan unit isolator bergantung pada laju pembebanan, setiap rangkaian pengujian yang ditetapkan dalam Pasal 17.8.2.2 harus dilakukan secara dinamis pada frekuensi yang sama dengan kebalikan (*inverse*) dari perioda efektif, T_D .

Jika prototipe benda uji dengan skala yang lebih kecil digunakan untuk mengukur properti isolator yang bergantung pada laju pembebanan, prototipe benda uji dengan skala yang lebih kecil tersebut harus mempunyai jenis dan bahan serta diproduksi dengan proses dan mutu yang sama dengan prototipe skala penuh. Prototipe benda uji dengan skala yang lebih kecil tersebut juga harus diuji dengan frekuensi yang mewakili laju pembebanan prototipe skala penuh.

Properti gaya-lendutan suatu unit isolator harus dianggap bergantung pada laju pembebanan jika properti yang diukur (kekakuan efektif atau redaman efektif) pada suatu perpindahan rencana yang diuji pada sembarang frekuensi dalam kisaran 0,1 – 2,0 kali kebalikan dari T_D , berbeda lebih dari 15 persen dengan properti yang diuji pada frekuensi yang sama dengan kebalikan dari T_D .

12.8.2.4 Isolator yang Bergantung pada Beban Bilateral

Jika properti gaya-lendutan unit isolator bergantung pada beban bilateral, pengujian yang ditetapkan dalam Pasal **12.8.2.2** dan **12.8.2.3** harus ditambah untuk mencakup beban bilateral pada penambahan perpindahan rencana total, D_{TD} berikut ini: 0,25 dan 1,0; 0,5 dan 1,0; 0,75 dan 1,0; serta 1,0 dan 1,0

Jika prototipe benda uji dengan skala yang lebih kecil digunakan untuk mengukur properti isolator yang bergantung pada beban bilateral, prototipe benda uji dengan skala yang lebih kecil harus mempunyai jenis dan bahan serta diproduksi dengan proses dan mutu yang sama dengan prototipe skala penuh.

Properti gaya-lendutan suatu unit isolator harus dianggap bergantung pada beban bilateral jika kekakuan efektif akibat pembebanan bilateral berbeda lebih dari 15 persen dengan kekakuan efektif akibat pembebanan unilateral.

12.8.2.5 Beban Vertikal Maksimum dan Minimum

Unit isolator yang memikul beban vertikal harus diuji statik untuk beban vertikal ke bawah maksimum dan minimum pada saat perpindahan maksimum total. Dalam pengujian ini, kombinasi beban vertikal harus diambil sesuai **Pasal 12.2.4.6** pada sembarang unit isolator dengan jenis dan ukuran yang sama. Beban mati, D , dan beban hidup, L ditentukan dalam **Pasal 7.4**. Beban gempa, E , dihitung sesuai dengan **persamaan 7.4-1 dan 7.4-2** di mana S_{DS} dalam persamaan tersebut diganti dengan S_{MS} dan beban vertikal yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horisontal, Q_E , harus didasarkan pada respons puncak akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan.

12.8.2.6 Sistem Penahan Angin

Jika suatu sistem penahan angin akan digunakan, kapasitas ultimit harus ditetapkan dari pengujian.

12.8.2.7 Pengujian Unit yang Sejenis

Pengujian prototipe tidak diperlukan jika unit isolator mempunyai ukuran yang sama serta memiliki jenis dan bahan yang sama dengan prototipe unit isolator yang sebelumnya pernah diuji dengan menggunakan rangkaian pengujian yang ditentukan.

12.8.3 Penentuan Karakteristik Gaya-Lendutan

Karakteristik gaya-lendutan sistem isolasi harus didasarkan pada pengujian pembebanan siklik dari prototipe isolator yang ditentukan di **Pasal 12.8.2**.

Kekakuan efektif dari suatu unit isolator, k_{eff} , harus dihitung untuk setiap siklus pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (12.8-1)$$

di mana F^+ and F^- adalah gaya-gaya positif dan negatif masing-masing pada Δ^+ dan Δ^- .

Redaman efektif, β_{eff} , dari suatu unit isolator harus dihitung untuk setiap siklus pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{loop}}{k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad (12.8-2)$$

di mana energi disipasi di setiap siklus pembebanan, E_{loop} , dan kekakuan efektif, k_{eff} , harus didasarkan pada perpindahan pengujian puncak Δ^+ dan Δ^- .

12.8.4 Kelayakan Benda Uji

Kinerja benda uji dianggap memadai jika kondisi-kondisi berikut ini terpenuhi:

1. Pemetaan gaya-lendutan untuk semua pengujian yang ditetapkan dalam **Pasal 12.8.2** mempunyai peningkatan kapasitas penahan gaya yang positif.
2. Untuk setiap penambahan perpindahan pengujian yang ditentukan dalam butir 2 **Pasal 12.8.2.2** dan untuk setiap kasus beban vertikal di **Pasal 12.8.2.2**,
 - a. Untuk setiap benda uji, perbedaan antara kekakuan efektif untuk setiap 3 siklus pengujian dan kekakuan efektif rata-rata tidak lebih dari 15 persen.
 - b. Untuk setiap siklus pengujian, perbedaan antara kekakuan efektif dari 2 benda uji unit isolator yang sejenis dan sama ukurannya dan kekakuan efektif rata-rata tidak lebih dari 15 persen.
3. Untuk setiap benda uji, perubahan kekakuan efektif selama siklus pengujian yang ditetapkan di butir 4 **Pasal 12.8.2.2** tidak lebih besar dari 20 persen dari kekakuan efektif awal.
4. Untuk setiap benda uji, pengurangan redaman efektif selama siklus pengujian yang ditetapkan di butir 4 **Pasal 12.8.2.2** tidak lebih besar dari 20 persen dari redaman efektif awal.
5. Semua benda uji elemen-elemen pemikul beban vertikal dari sistem isolasi tetap stabil pada waktu diuji sesuai dengan **Pasal 12.8.2.5**.

12.8.5 Properti Rencana Sistem Isolasi

12.8.5.1 Kekakuan Efektif Maksimum dan Minimum

Pada perpindahan rencana, kekakuan efektif maksimum dan minimum dari sistem isolasi, k_{Dmax} dan k_{Dmin} , harus berdasarkan pengujian siklik sesuai butir 2 **Pasal 12.8.2.2** dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$k_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2D_D} \quad (12.8-3)$$

$$k_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2D_D} \quad (12.8-4)$$

Pada perpindahan maksimum, kekakuan efektif maksimum dan minimum sistem isolasi, k_{Mmax} dan k_{Mmin} , harus berdasarkan pengujian siklik dan dihitung dengan persamaan:

$$k_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2D_M} \quad (12.8-5)$$

$$k_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2D_M} \quad (12.8-6)$$

Kekakuan efektif maksimum sistem isolasi, k_{Dmax} (atau k_{Mmax}), harus berdasarkan pada gaya-gaya dari siklus pengujian prototipe di perpindahan pengujian yang sama dengan D_D (atau D_M) yang menghasilkan nilai kekakuan efektif terbesar. Kekakuan efektif minimum sistem isolasi, k_{Dmin} (atau k_{Mmin}), harus berdasarkan pada gaya-gaya dari siklus pengujian prototipe di perpindahan pengujian sama dengan D_D (atau D_M) yang menghasilkan nilai kekakuan efektif terkecil.

Berdasarkan pengujian dari **Pasal 12.8.2.2, 12.8.2.3, dan 12.8.2.4**, untuk unit isolator yang mempunyai karakteristik gaya-lendutan yang bervariasi dengan beban vertikal, laju pembebanan, atau beban bilateral, nilai k_{Dmax} dan k_{Mmax} harus ditingkatkan dan nilai k_{Dmin} dan k_{Mmin} harus dikurangi seperlunya, untuk memenuhi pengaruh-pengaruh variasi pengukuran kekakuan efektif.

12.8.5.2 Redaman Efektif

Pada perpindahan rencana, redaman efektif sistem isolasi, β_D , harus didasarkan pada pengujian siklik dari butir 2 di **Pasal 12.8.2.2** dan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\beta_D = \frac{\sum E_D}{2\pi k_{Dmax} D_D^2} \quad (12.8-7)$$

Dalam **persamaan 12.8-7**, energi disipasi total setiap siklus dari respons perpindahan rencana, $\sum E_D$, harus diambil sebagai penjumlahan dari energi terdisipasi per siklus di semua unit isolator yang diukur pada saat perpindahan pengujian setara dengan D_D dan harus berdasarkan gaya dan lendutan dari siklus pengujian prototipe di perpindahan pengujian D_D yang menghasilkan nilai redaman efektif terkecil.

Pada saat perpindahan maksimum, redaman efektif sistem isolasi, β_M , harus didasarkan pada pengujian siklik dari butir 2 di **Pasal 12.8.2.2** dan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_{Mmax} D_M^2} \quad (12.8-7)$$

Dalam **persamaan 12.8-8**, energi disipasi total setiap siklus dari respons perpindahan rencana, $\sum E_M$, harus diambil sebagai penjumlahan dari energi terdisipasi per siklus di semua unit isolator yang diukur pada saat perpindahan pengujian setara dengan D_M dan harus berdasarkan gaya dan defleksi dari siklus pengujian prototipe di perpindahan pengujian D_M yang menghasilkan nilai redaman efektif terkecil.

13. INTERAKSI TANAH-STRUKTUR UNTUK DISAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA

13.1. Umum

Jika pengaruh interaksi tanah-struktur diperhitungkan, maka ketentuan dalam pasal ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya gempa rencana serta deformasi struktur. Ketentuan ini dapat digunakan bila model yang digunakan dalam analisis respons struktur tidak secara langsung menggabungkan efek fleksibilitas fondasi (contoh, model struktur dengan kondisi dasar terjepit tanpa menggunakan pegas fondasi). Ketentuan ini tidak berlaku bila telah menggunakan dasar fondasi yang fleksibel dalam pemodelan respons struktur.

Ketentuan tentang penggunaan gaya lateral ekuivalen disajikan dalam **Pasal 13.2**, dan ketentuan tentang penggunaan prosedur analisis ragam dibahas dalam **Pasal 13.3**.

13.2. Prosedur Penentuan Gaya Lateral Ekuivalen

Ketentuan berikut ini merupakan tambahan atas materi yang telah disajikan dalam **Pasal 7.8**.

13.2.1 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Guna memperhitungkan pengaruh interaksi tanah- struktur, gaya geser dasar (V) yang didapatkan dari **Persamaan 7.8-1** harus direduksi menjadi:

$$\tilde{V} = V - \Delta V \quad (13.2-1)$$

Reduksi (ΔV) harus dihitung sesuai persamaan dibawah ini, tetapi nilainya tidak boleh melebihi $0.3V$.

$$\Delta V = \left[C_s - \tilde{C}_s \left(\frac{0.05}{\tilde{\beta}} \right)^{0.4} \right] \bar{W} \leq 0.3V \quad (13.2-2)$$

di mana

C_s = koefisien disain gempa dihitung dari **1 Persamaan 7.8-2, 7.8-3, dan 7.8-4** menggunakan perioda alami fundamental dari struktur dasarnya terjepit (T atau T_a) sebagaimana dijelaskan dalam **Pasal 7.8.1**

\tilde{C}_s = nilai C_s dihitung dari **Persamaan 7.8-2 dan 7.8-3** menggunakan perioda alami struktur dengan tumpuan fleksibel (\tilde{T}) seperti ditunjukkan dalam **Pasal 13.2.1.1**

$\tilde{\beta}$ = redaman kritis untuk sistem struktur-fondasi yang dihitung sesuai **Pasal 13.2.1.2**

\bar{W} = berat efektif struktur di mana harus diambil sebesar $0.7W$, kecuali untuk struktur yang berat efektifnya terkonsentrasi pada suatu lantai maka harus diambil sama dengan W

13.2.1.1 Periode Bangunan Efektif

Periode bangunan efektif harus dihitung sebagai berikut:

$$\tilde{T} = T \sqrt{1 + \frac{\bar{k}}{K_y} \left(1 + \frac{K_y \bar{h}^2}{K_\theta} \right)} \quad (13.2-3)$$

di mana:

T = periode fundamental struktur yang dihitung sesuai **Pasal 7.8.2**

\bar{k} = kekakuan stuktur pada kondisi dasar terjepit, ditentukan sebagai berikut:

$$\bar{k} = 4\pi^2 \left(\frac{\bar{W}}{gT^2} \right) \quad (13.2-4)$$

di mana:

\bar{h} = tinggi efektif struktur, yang diambil 0.7 dari tinggi struktur (h_n), kecuali pada struktur di mana beban gravitasi secara efektif terkonsentrasi pada satu lantai maka tinggi efektif struktur harus diambil sebesar ketinggian terhadap lantai tersebut

K_y = kekakuan lateral fondasi didefinisikan sebagai besar gaya lateral yang bekerja pada fondasi untuk menghasilkan defleksi sebesar 1 unit, gaya dan defleksi yang ditinjau didasarkan atas arah arah di mana analisis dilakukan

K_θ = kekakuan rotasi fondasi didefinisikan sebagai momen yang dibutuhkan untuk memberikan rotasi sebesar 1 unit pada fondasi, momen dan rotasi yang ditinjau didasarkan atas arah di mana analisis dilakukan

g = percepatan gravitasi

Kekakuan fondasi (K_y dan K_θ) harus ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip mekanika fondasi dengan menggunakan karakteristik tanah yang sesuai dengan tingkat regangan tanah akibat goyangan gempa rencana. Modulus geser rata-rata (G) untuk tanah di bawah fondasi pada tingkat regangan besar dan kecepatan gelombang geser (v_s) yang terkait ditentukan dari **Tabel 13.2-1** di mana:

v_{so} = kecepatan gelombang geser rata-rata dari tanah di bawah fondasi pada tingkat regangan kecil (10^{-3} percent atau lebih kecil)

$G_o = \gamma v_{so}^2 / g$ = modulus geser rata-rata dari tanah di bawah fondasi pada tingkat regangan kecil

γ = berat jenis tanah

Tabel 13.2-1 Nilai G/G_0 dan v_s/v_{s0}

Kelas Situs	Nilai v_s/v_{s0}			Nilai G/G_0		
	$S_{DS}/2,5$			$S_{DS}/2,5$		
	$\leq 0,1$	0,4	$\geq 0,8$	$\leq 0,1$	0,4	$\geq 0,8$
SA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SB	1,00	0,97	0,95	1,00	0,95	0,90
SC	0,97	0,87	0,77	0,95	0,75	0,60
SD	0,95	0,71	0,32	0,90	0,50	0,10
SE	0,77	0,22	^a	0,60	0,05	^a
SF	^a	^a	^a	^a	^a	^a

Catatan: ^a Gunakan interpolasi linier untuk nilai tengah dari $S_{DS}/2.5$
^a harus dilakukan analisis spesifik-situs

Sebagai alternatif, untuk struktur dengan fondasi rakit yang terletak pada permukaan tanah atau tertanam dalam tanah tetapi dindingnya dianggap tidak mengalami kontak dengan tanah waktu gempa, maka perioda efektif struktur dapat dihitung sebagai berikut

$$\tilde{T} = T \sqrt{1 + \frac{25\alpha r_a \bar{h}}{v_s^2 T^2} \left(1 + \frac{1.12 r_a \bar{h}^2}{\alpha_\theta r_m^3} \right)} \quad (13.2-5)$$

di mana

α = kepadatan berat relatif struktur dan tanah ditentukan dari

$$\alpha = \frac{\bar{W}}{\gamma A_0 \bar{h}} \quad (13.2-6)$$

r_a dan r_m = panjang fondasi karakteristik ditentukan berdasarkan

$$r_a = \sqrt{\frac{A_0}{\pi}} \quad (13.2-7)$$

dan

$$r_m = 4 \sqrt{\frac{4I_0}{\pi}} \quad (13.2-8)$$

di mana:

A_0 = luas area fondasi yang memikul beban

I_0 = momen inersia statis dari fondasi yang memikul beban terhadap sumbu horisontal yang tegak lurus terhadap arah di mana struktur dianalisis

α_θ = faktor kekakuan fondasi dinamis untuk rocking seperti ditentukan dalam **Tabel 13.2-2**.

v_s = kecepatan gelombang geser

T = perioda fundamental struktur sebagaimana ditentukan dalam **Pasal 7.8.2**

Tabel 13.2-2 Nilai α_θ

$r_m/v_s T$	α_θ
$< 0,05$	1,0
0,15	0,85
0,35	0,7
0,5	0,6

13.2.1.2 Redaman Efektif

Faktor redaman efektif sistem-fondasi-struktur ($\tilde{\beta}$) harus ditentukan sebagai berikut:

$$\tilde{\beta} = \beta_0 \frac{0.05}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^3} \quad (13.2-9)$$

di mana

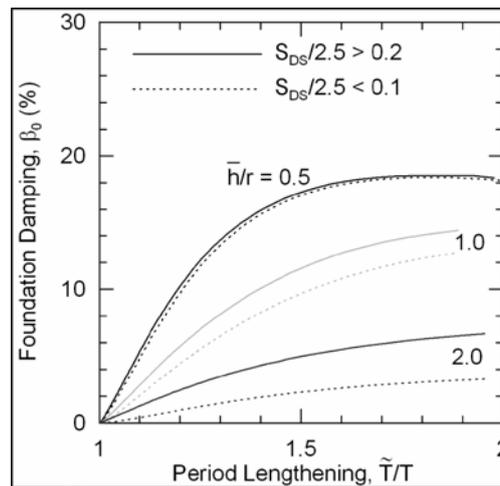
β_0 = faktor redaman fondasi seperti ditunjukkan dalam **Gambar 13.2-1**

untuk nilai $\frac{S_{DS}}{2.5}$ diantara 0.10 dan 0.20, nilai β_0 harus ditentukan dengan interpolasi linier antara garis solid dan garis putus-putus dalam **Gambar 13.2-1**.

Besar r dalam **Gambar 13.2-1** merupakan panjang fondasi karakteristik yang harus ditentukan sebagai berikut:

$$\text{untuk } \frac{\bar{h}}{L_0} \leq 0.5, r = r_a \quad (13.2-10)$$

$$\text{untuk } \frac{\bar{h}}{L_0} \geq 1, r = r_m \quad (13.2-11)$$



Gambar 14.2-1 Faktor redaman fondasi

di mana

L_0 = panjang keseluruhan sisi fondasi pada arah yang dianalisis

r_a dan r_m = panjang fondasi karakteristik seperti ditentukan dalam **Persamaan 13.2-7** dan **13.2-8**

untuk nilai $\frac{\bar{h}}{L_0}$ yang diantara, nilai r ditentukan dengan interpolasi linier.

PENGECUALIAN: Untuk struktur yang dipikul oleh tiang-tiang end bearing dan dalam semua kasus di mana tanah di bawah fondasi terdiri dari lapisan lunak yang relatif seragam berada di atas tanah lebih kaku, seperti deposit batuan dengan peningkatan kekakuan secara mendadak, faktor β_0 dalam **Persamaan 13.2-9** harus diganti dengan β'_0 jika $\frac{4D_s}{v_s \tilde{T}} < 1$ di mana D_s adalah kedalaman total hingga tanah lunak. β'_0 harus ditentukan sebagai berikut:

$$\beta'_0 = \left(\frac{4D_s}{v_s \tilde{T}}\right)^2 \beta_0 \quad (13.2-12)$$

Nilai $\tilde{\beta}$ dihitung dengan **Persamaan 13.2-9**, baik dengan atau tanpa penyesuaian menurut **Persamaan 13.2-12**, dalam setiap kasus nilai $\tilde{\beta}$ boleh lebih kecil dari 0.05 atau lebih besar dari 0.20.

13.2.2 Distribusi Vertikal Gaya-Gaya Gempa

Distribusi gaya gempa total yang tereduksi (\tilde{V}) sepanjang ketinggian struktur harus dianggap sama dengan distribusi pada struktur tanpa mempertimbangkan adanya interaksi dengan tanah.

13.2.3 Pengaruh Lain

Gaya geser lantai termodifikasi, momen guling, dan pengaruh torsi dalam sumbu vertikal harus dihitung seperti dalam perhitungan struktur tanpa interaksi dengan tanah dengan menggunakan gaya lateral tereduksi.

Selanjutnya defleksi termodifikasi ($\tilde{\delta}$) harus ditentukan sebagai berikut:

$$\tilde{\delta}_x = \frac{\tilde{V}}{V} \left[\frac{M_0 h_x}{K_\theta} + \delta_x \right] \quad (13.2-13)$$

di mana

M_0 = momen guling pada dasar dengan menggunakan gaya gempa tidak termodifikasi dan tanpa memperhitungkan reduksi dalam disain fondasi

h_x = tinggi dari dasar hingga ketinggian lantai yang ditinjau

δ_x = defleksi pada struktur dengan kondisi dasar terjepit seperti ditentukan dalam **Pasal 7.8.6** dengan menggunakan gaya gempa tidak

Tingkat simpangan antar lantai termodifikasi dan efek P-delta harus ditinjau sesuai dengan ketentuan dalam **Pasal 7.8.6 dan 7.8.7** menggunakan gaya geser lantai termodifikasi dan defleksi yang ditentukan dalam bagian ini.

13.3. Prosedur Analisis Ragam

Ketentuan yang berkaitan pada bagian ini ditunjukkan dalam **Pasal 7.9**.

13.3.1 Beban Geser Dasar Ragam

Untuk memperhitungkan pengaruh interaksi tanah-struktur, gaya geser dasar pada ragam getaran fundamental (V_1) harus direduksi menjadi

$$\tilde{V}_1 = V_1 - \Delta V_1 \quad (13.3-1)$$

Reduksi (ΔV_1) ini harus ditentukan berdasarkan **Persamaan 13.2-2** dengan \bar{W} diambil sama dengan berat efektif pada perioda fundamental, \bar{W} dan C_s ditentukan berdasarkan **Pers 7.8-1**, tetapi S_{DS} harus diganti dengan respons spektra percepatan dari spektra respons disain pada perioda fundamental struktur yang dasarnya terjepit (T_1).

Perioda \tilde{T} ditentukan dari **Persamaan 13.2-3** atau dari **Persamaan 13.2-5** yang sesuai, dengan menggunakan $T = T_1$, dan menghitung k berdasarkan **Persamaan 13.2-4** dengan mengganti \bar{W} menjadi \bar{W}_1 dan selanjutnya menghitung \bar{h} sebagai berikut:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \varphi_{i1} h_i}{\sum_{i=1}^n w_i \varphi_{i1}} \quad (13.3-2)$$

di mana

w_i = bagian beban gravitasi total dari struktur pada lantai ke-i

φ_{i1} = amplitudo perpindahan di lantai ke-i dari struktur ketika bergetar pada moda fundamental

h_i = tinggi dari dasar hingga lantai ke-i

Nilai \bar{W} , \bar{h} , T , \tilde{T} juga harus digunakan dalam meninjau faktor α dari **Persamaan 13.2-6** dan faktor β_0 dari **Gambar 13.2-1**. Tidak ada reduksi yang harus digunakan pada komponen geser akibat moda getar yang lebih tinggi. Reduksi beban geser dasar (\tilde{V}_1) harus diambil tidak kurang dari $0.7V_1$.

13.3.2 Pengaruh Ragam Lainnya

Gaya gempa ragam termodifikasi, gaya geser lantai, momen guling harus dihitung sebagai struktur tanpa adanya interaksi dengan tanah dengan menggunakan gaya geser dasar termodifikasi (\tilde{V}_1) dan bukan V_1 . Defleksi ragam termodifikasi ($\tilde{\delta}_{xm}$) harus ditentukan sebagai berikut:

$$\tilde{\delta}_{x1} = \frac{\tilde{V}_1}{V_1} \left[\frac{M_{01}h_x}{K_\theta} + \delta_{x1} \right] \quad (13.3-3)$$

dan

$$\tilde{\delta}_{xm} = \delta_{xm} \text{ untuk } m = 2, 3, \dots$$

di mana

M_{01} = momen guling dasar untuk moda fundamental dari struktur yang dasarnya terjepit dengan menggunakan beban geser dasar tidak termodifikasi V_1 .

δ_{xm} = defleksi ragam pada lantai ke-x dari struktur yang dasarnya terjepit menggunakan beban geser ragam V_m .

Simpangan antar lantai dari suatu lantai ($\tilde{\Delta}_m$) harus dihitung sebagai perbedaan antara defleksi ($\tilde{\delta}_{xm}$) atas dan defleksi bawah dari lantai yang ditinjau.

13.3.3 Nilai untuk Disain

Besarnya gaya geser termodifikasi, momen, defleksi, dan tingkat simpangan antar lantai harus ditentukan sebagai struktur tanpa interaksi dengan tanah dengan mengambil akar kuadrat dari jumlah kuadrat kontribusi masing-masing ragam. Dalam disain fondasi, diijinkan untuk mereduksi momen guling pada *interface* fondasi-tanah sebesar 10 persen dari struktur tanpa memperhitungkan adanya interaksi dengan tanah.

Pengaruh torsi pada sumbu vertikal harus dievaluasi sesuai dengan ketentuan dalam **Pasal 7.8.4** dan pengaruh P-delta harus dihitung sesuai dengan ketentuan dalam **Pasal 7.8.7** menggunakan gaya geser lantai dan simpangan antar lantai yang ditentukan dalam **Pasal 13.3.2**.

13.4. Interaksi Tanah dan Struktur untuk Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Penggunaan ketentuan ini akan menurunkan nilai disain dari beban geser dasar, beban lateral, dan momen guling, tetapi meningkatkan besar perpindahan yang dihitung dalam arah lateral dan beban sekunder yang terkait dengan pengaruh P- Δ .

Sebuah faktor pengali (α_θ) dimasukkan dalam perumusan kekakuan rotasi (K_θ). Pada analisis kembali perioda perpanjangan dan nilai redaman fondasi dari struktur dinding geser kaku dibandingkan dengan prediksi dari analisis code-type, prediksi menjadi jauh lebih akurat dengan penambahan hubungan α_θ .

Dalam perhitungan impedansi K_y dan K_θ , tidak terdapat rekomendasi khusus yang harus digunakan untuk model *half space* dengan *finite soil* pada dasar kaku. Penelitian menunjukkan kekakuan dari sebuah model dengan dua lapis jenis tanah mendekati kekakuan dari sebuah model *finite soil* di atas dasar kaku pada kondisi lapisan tanah dengan kecepatan geser lebih dari dua kali kecepatan geser di permukaan tanah.

Pembatasan diberlakukan pada penggunaan lapisan *finite soil* di atas model dasar kaku tetap berlaku ($r/D_s < 0.5$, di mana r = jari-jari fondasi dan D_s = kedalaman lapisan *finite soil*).

Dalam perhitungan impedansi statis dengan model *half space*, salah satu isu penting adalah pada kedalaman tanah berapa kecepatan geser tanah harus diambil rata-rata untuk dapat mewakili kecepatan geser pada half-space. Penelitian menunjukkan bahwa pada profil tanah beragam, kedalaman $0.7 r_a$ tepat untuk kekakuan translasi, dan $0.75 r_m$ tepat untuk kekakuan rotasi.

Definisi K_y dan K_θ tidak lagi menggunakan istilah statis karena pengaruh dinamis akan diperhitungkan kemudian untuk K_θ .

14. PETA-PETA GERAK TANAH SEISMIK DAN KOEFISIEN RISIKO

Bab ini memberikan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake, MCE*) yang ditunjukkan pada Gambar 14.1 sampai Gambar 14.5, yang diperlukan untuk menerapkan ketentuan-ketentuan beban seismik dalam standar ini.

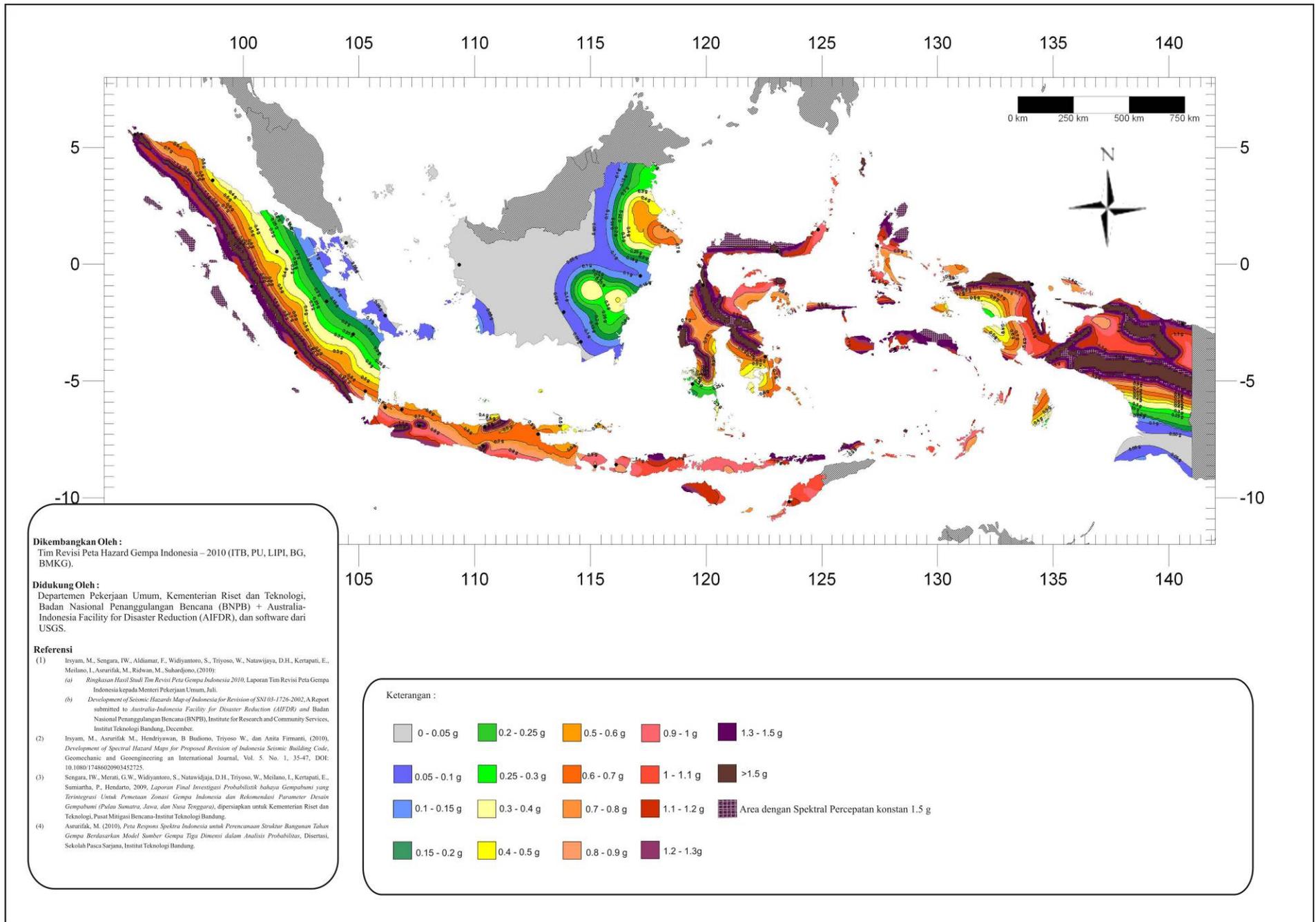
Gambar 14.1 dan Gambar 14.2 menunjukkan peta Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuai (MCE_R) parameter-parameter gerak tanah S_S dan S_I , Kelas Situs SB. S_S adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCE_R risiko-terselesaikan pada periode pendek, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan pada Pasal 6.1.1. S_I adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCE_R risiko-terselesaikan pada periode 1 detik, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan pada Pasal 6.1.1.

Gambar 14.4 dan Gambar 14.5 menunjukkan nilai-nilai C_{RS} dan C_{RI} . C_{RS} adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode pendek yang digunakan pada Pasal 6.9.2.1. C_{RI} adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode 1 detik yang digunakan pada Pasal 6.9.2.1.

Pada Bab ini juga diberikan Gambar 14.3, yang menyajikan gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE_G), percepatan tanah puncak, dalam g, Kelas Situs SB.

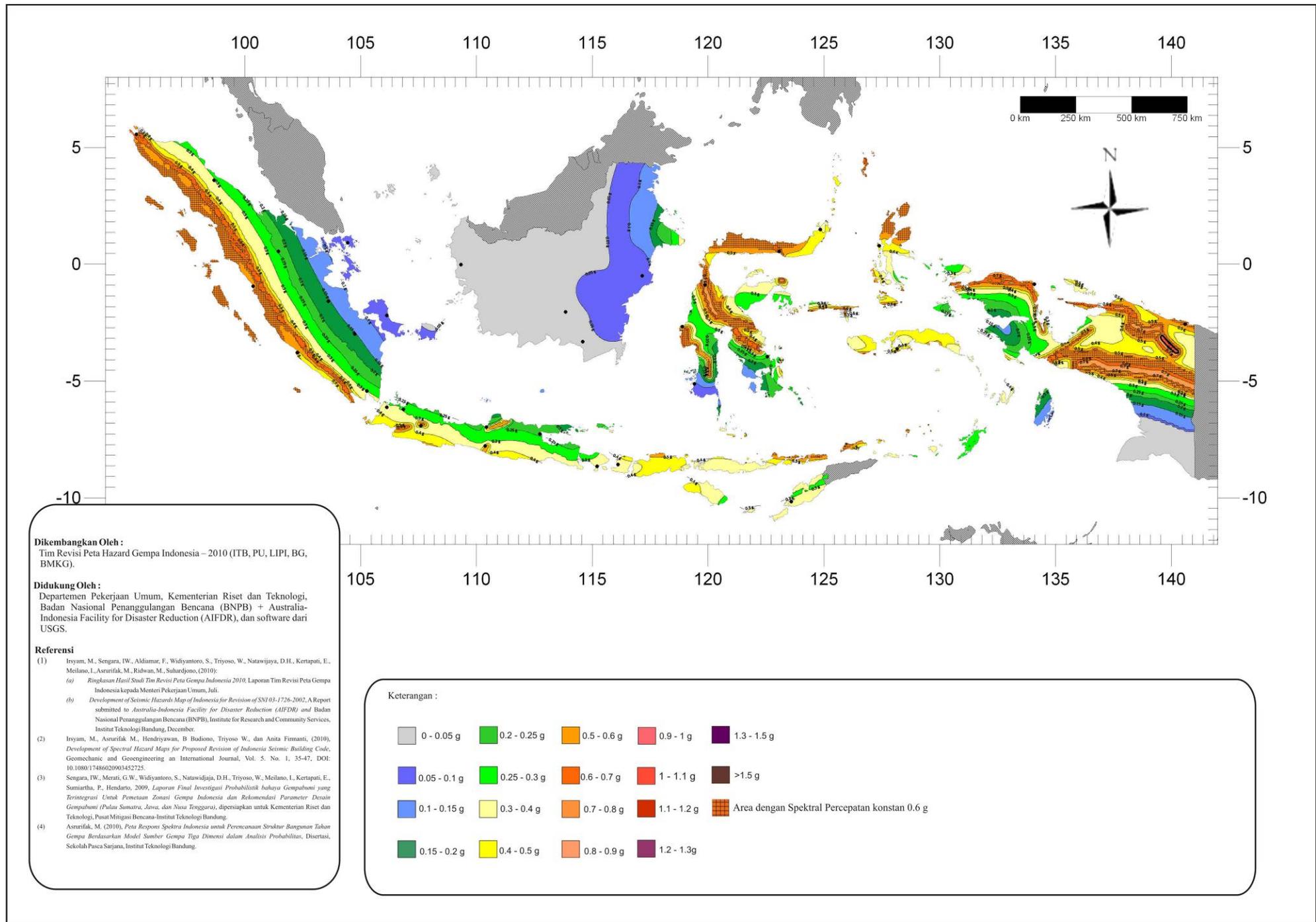
Nilai-nilai kontur percepatan puncak dijelaskan sebagai berikut

- Target risiko pada struktur saat mengalami keruntuhan didefinisikan sebanding dengan 1 persen kemungkinan keruntuhan bangunan dalam 50 tahun, berdasarkan kekuatan umum struktur. Dalam kaitan ini, MCE_R risiko-terselesaikan didefinisikan sebagai nilai spektral S_S dan S_I MCE 2 persen kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun dikalikan dengan koefisien risiko, masing-masing C_{RS} dan C_{RI} (sesuai Gambar 14.4 dan Gambar 14.5, yang dalam ketentuan standar ini nilai-nilai tersebut bervariasi antara 0,85 sampai 1,15).
- Faktor pengali 1,05 pada periode 0,2 detik dan faktor pengali 1,15 pada periode 1 detik diterapkan terhadap nilai rata-rata geometrik hasil analisis bahaya (*hazard*) gempa untuk memperhitungkan arah percepatan maksimum.
- Batas atas deterministik digunakan pada daerah dekat sesar aktif dengan mengambil faktor pengali 1,5 kali dari nilai tengah percepatan puncak hasil analisis bahaya (*hazard*) gempa deterministik (faktor 1,5 kali nilai median digunakan untuk merepresentasikan respons 84^{th} percentile), dan nilai spektral tidak kurang 1,5g untuk periode 0,2 detik dan tidak kurang dari 0,6g untuk periode 1 detik.



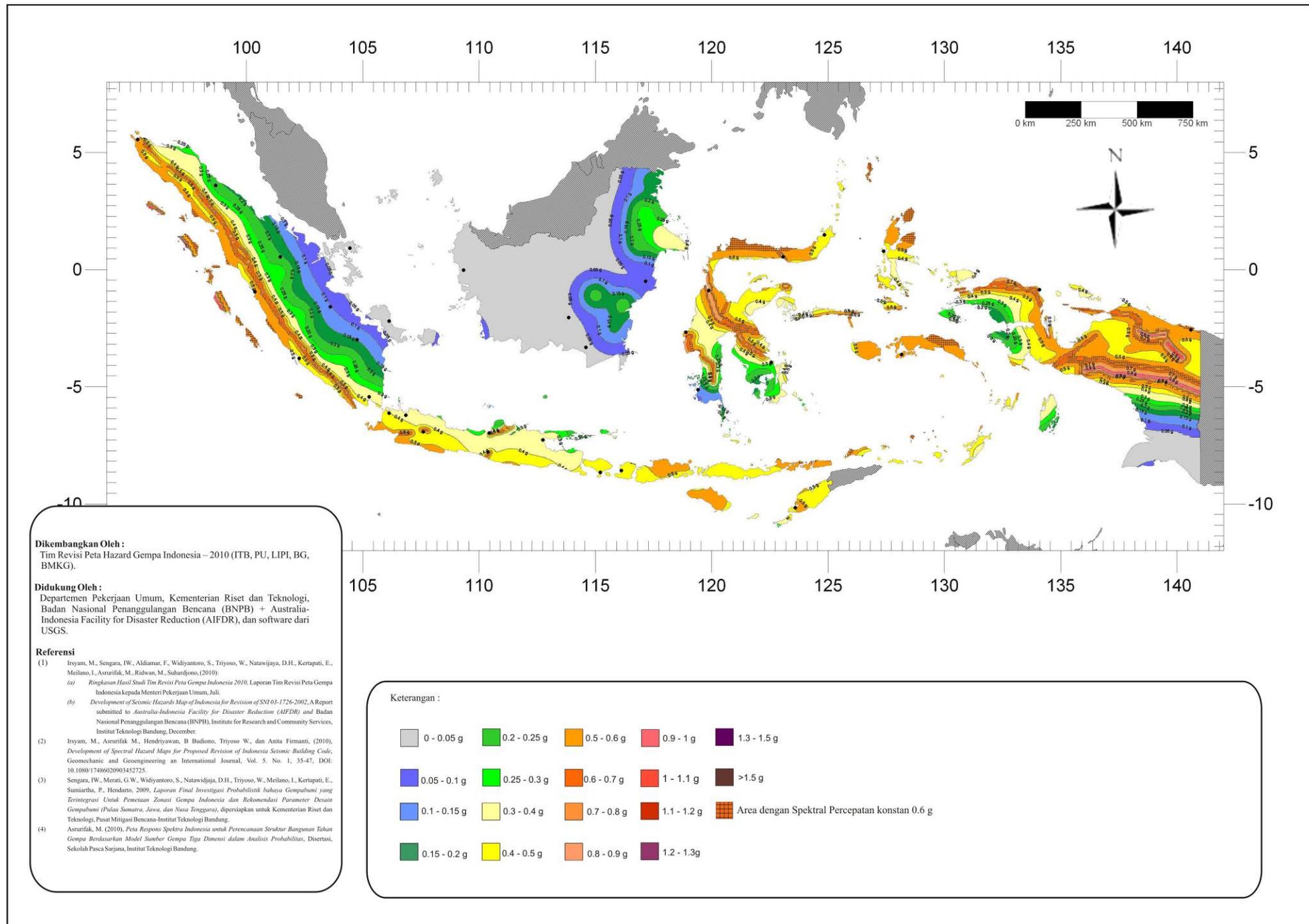
Catatan: Nilai-nilai lebih detail percepatan spektral respons dapat dilihat pada program SpektralIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini

Gambar 14.1 S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaiakan (MCE_R), Parameter Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.



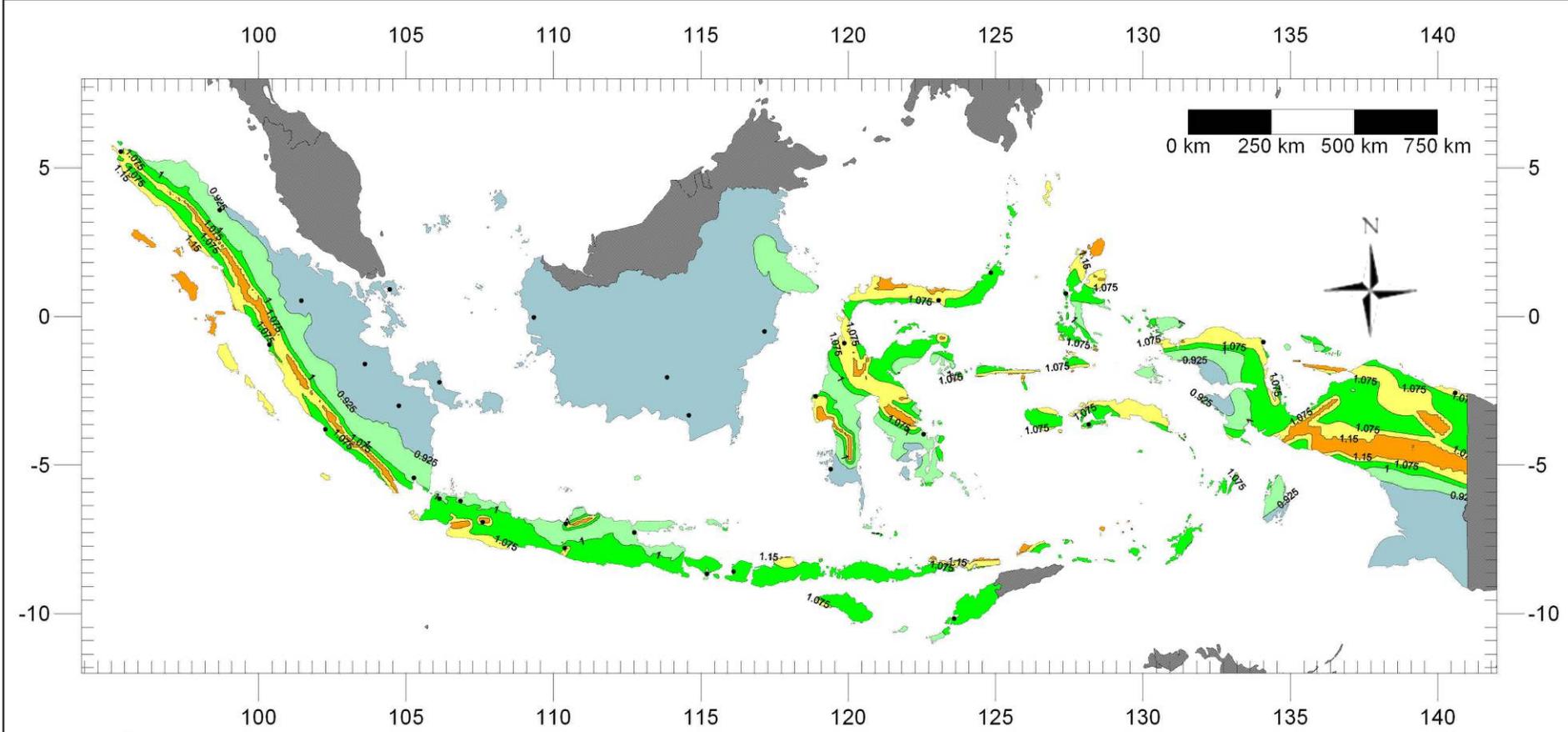
Catatan: Nilai-nilai lebih detail percepatan spektral respons dapat dilihat pada program SpektraIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini

Gambar 14.2 S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCE_R), Parameter Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.



Catatan: Nilai-nilai lebih detail percepatan spektral respons dapat dilihat pada program SpektraIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini

Gambar 14.3 PGA, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCE_G), Parameter Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.



Dikembangkan Oleh :
Tim Revisi Peta Hazard Gempa Indonesia – 2010 (ITB, PU, LIPI, BG, BMKG).

Didukung Oleh :
Departemen Pekerjaan Umum, Kementerian Riset dan Teknologi
Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) + Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR), dan software dari USGS.

Referensi

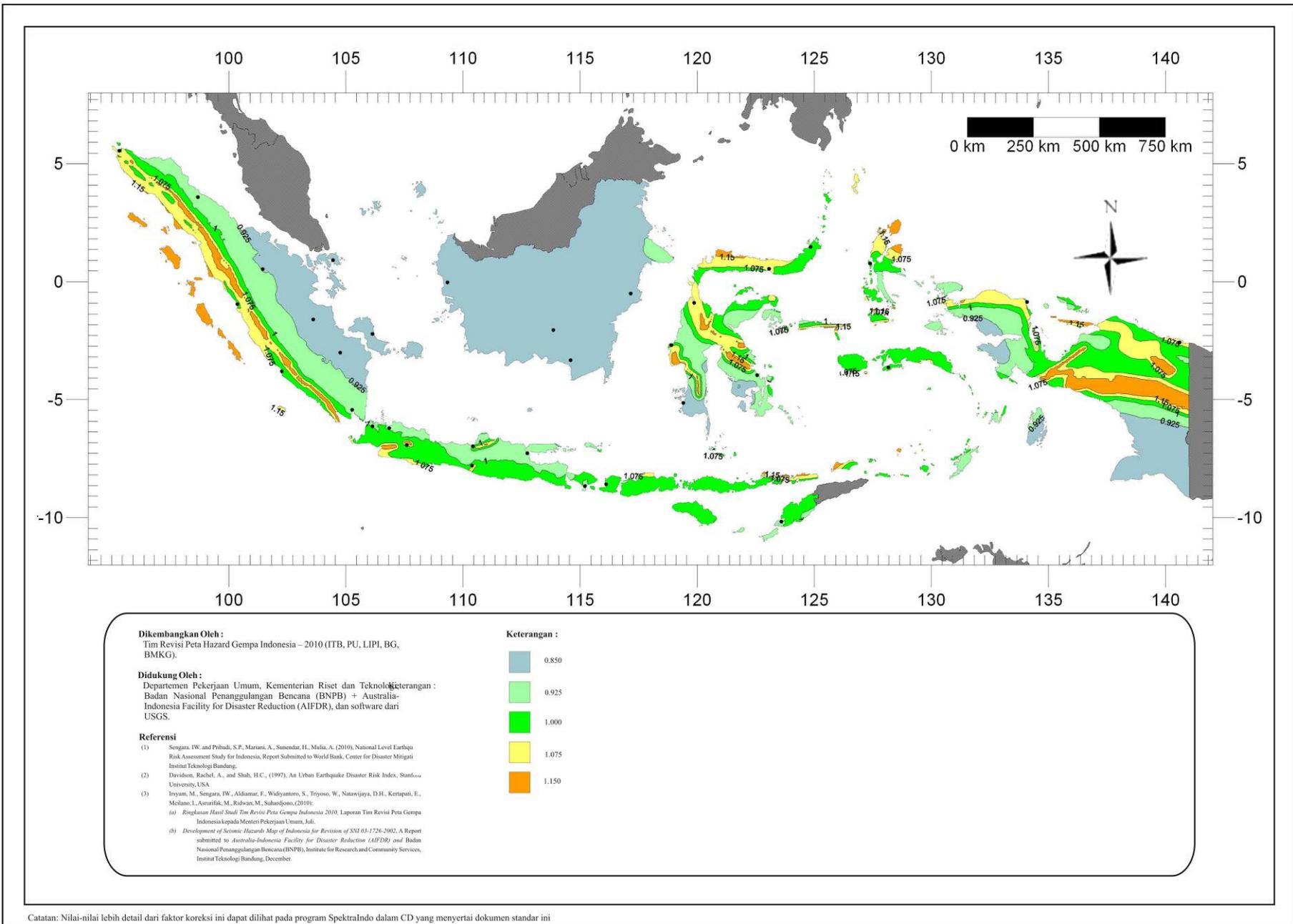
- (1) Sengara, IW. and Pribadi, S.P., Mariani, A., Sunendar, H., Mulia, A. (2010), National Level Earthquake Risk Assessment Study for Indonesia, Report Submitted to World Bank, Center for Disaster Mitigasi Institut Teknologi Bandung.
- (2) Davidson, Rachel, A., and Shah, H.C., (1997), An Urban Earthquake Disaster Risk Index, Stanford University, USA
- (3) Doyam, M., Sengara, IW., Alfarhan, F., Widyanoto, S., Tryoso, W., Natarwijaya, D.H., Kartapati, E., Mellano, I., Asurufak, M., Ridwan, M., Subardjono, (2010):
 - (a) Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Laporan Tim Revisi Peta Gempa Indonesia kepada Menteri Pekerjaan Umum, Juli.
 - (b) Development of Seismic Hazards Map of Indonesia for Revision of SNI 03-1726-2002, A Report submitted to Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR) and Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Institute for Research and Community Services, Institut Teknologi Bandung, December.

Keterangan :

	0.850
	0.925
	1.000
	1.075
	1.150

Catatan: Nilai-nilai lebih detail dari faktor koreksi ini dapat dilihat pada program SpektraIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini

Gambar 14.4 C_{RS} , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 0,2 detik.



Gambar 14.5 C_{RI} , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 detik.

Catatan:

1. Peta-peta ini disiapkan oleh Tim-9, Tim Revisi Peta Hazard Gempa Indonesia, atas dukungan dan bantuan yang diberikan oleh Departemen Pekerjaan Umum, bekerjasama dengan Deputi Pendayagunaan dan Pemasyarakatan Iptek - Kementerian Riset dan Teknologi, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melalui AIFDR (Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction), Institut Teknologi Bandung, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Badan Geologi, Badan Meteorologi-Klimatologi-Geofisika, dan United States Geological Survey (USGS).
2. Nilai-nilai lebih detail dari percepatan respons spektral serta penggunaan perangkat lunak untuk menghitung spektra respons desain dapat dilihat pada program SpektraIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini.