

## Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang menyalin, menggandakan dan mengumumkan sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun dan dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN

Gd. Mangala Wanabakti

Blok IV, Lt. 3,4,7,10.

Telp. +6221-5747043

Fax. +6221-5747045

Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)

[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta

## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata.....	viii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah, definisi dan notasi.....	1
4 Ketentuan umum .....	13
4.1 Gempa rencana, faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan .....	13
4.1.1 Gempa rencana .....	13
4.1.2 Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan.....	13
4.2 Kombinasi beban terfaktor dan beban layan .....	15
4.2.1 Lingkup penerapan .....	15
4.2.2 Kombinasi beban untuk metoda ultimit.....	15
4.2.3 Kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin.....	16
5 Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik .....	17
5.1 Klasifikasi situs .....	17
5.2 Analisis respons situs untuk tanah kelas situs SF .....	17
5.3 Definisi kelas situs .....	17
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.....	18
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-kohefif, $\bar{N}_{ch}$ .....	20
5.4.3 Kuat geser niralir rata-rata, $\bar{s}_u$ .....	20
6 Wilayah gempa dan spektrum respons .....	21
6.1 Parameter percepatan gempa .....	21
6.1.1 Parameter percepatan terpetakan .....	21
6.1.2 Kelas situs .....	21
6.2 Koefisien-koefisien situs dan paramater-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) .....	21

6.3	Parameter percepatan spektral desain .....	22
6.4	Spektrum respons Desain.....	23
6.5	Kategori desain seismik .....	234
6.6	Persyaratan perancangan untuk kategori desain seismik A .....	25
6.6.1	Persyaratan beban gempa.....	25
6.6.2	Sambungan untuk lintasan beban seismik.....	25
6.6.3	Gaya lateral.....	25
6.6.4	Sambungan pada tumpuan.....	255
6.6.5	Pengangkuran dinding struktural .....	26
6.7	Bahaya (hazard) geologi dan investigasi geoteknik.....	26
6.7.1	Batasan situs untuk kategori desain seismik E dan F.....	26
6.7.2	Ketentuan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik C hingga F.....	26
6.7.3	Persyaratan tambahan laporan investigasi geoteknik untuk kategori desain seismik D hingga F.....	266
6.8	Spektrum respons gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake / $MCE_R$ ).....	277
6.9	Prosedur gerak tanah pada spesifik-situs .....	277
6.10.1	Analisis respons situs.....	28
6.10.2	Analisis bahaya (hazard) gerak tanah untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ).....	29
6.10.3	Spektrum-respons desain .....	300
6.10.4	Parameter-parameter percepatan desain .....	300
6.10.5	Percepatan tanah puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik ( $MCE_G$ ) .....	311
7	Perencanaan umum struktur bangunan gedung.....	32
7.1	Struktur atas dan struktur bawah .....	32
7.1.1	Persyaratan dasar.....	322
7.1.2	Desain elemen struktur, desain sambungan, dan batasan deformasi .....	322
7.1.3	Lintasan beban yang menerus dan keterhubungan.....	322
7.1.4	Sambungan ke tumpuan.....	333
7.1.5	Desain fondasi .....	333
7.1.6	Persyaratan desain dan pendetailan material.....	333
7.2	Struktur penahan beban gempa.....	34
7.2.1	Pemilihan sistem struktur .....	34
7.2.2	Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda .....	344
7.2.3	Kombinasi sistem rangka dalam arah yang sama .....	388
7.2.4	Persyaratan pendetailan rangka kombinasi .....	3939

7.2.5	Persyaratan spesifik sistem .....	3939
7.3	Lantai tingkat sebagai diafragma, ketidakberaturan konfigurasi, dan redundansi ..	422
7.3.1	Fleksibilitas diafragma .....	422
7.3.2	Struktur bangunan gedung beraturan dan tidak beraturan .....	433
7.3.3	Batasan dan persyaratan tambahan untuk sistem dengan ketidakberaturan struktur.	444
7.3.4	Redundansi.....	466
7.4	Kombinasi dan pengaruh beban gempa .....	477
7.4.1	Lingkup penerapan .....	477
7.4.2	Pengaruh beban gempa .....	488
7.4.3	Pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih .....	4949
7.4.4	Gaya ke atas minimum untuk kantilever horisontal untuk kategori desain seismik D sampai F .....	511
7.5	Arah pembebanan .....	511
7.5.1	Arah kriteria pembebanan .....	511
7.5.2	Kategori desain seismik B .....	511
7.5.3	Kategori desain seismik C .....	511
7.5.4	Kategori desain seismik D sampai F .....	511
7.6	Prosedur analisis .....	522
7.7	Kriteria pemodelan.....	522
7.7.1	Pemodelan fondasi .....	522
7.7.2	Berat seismik efektif.....	522
7.7.3	Pemodelan struktur.....	533
7.7.4	Pengaruh interaksi.....	544
7.8	Prosedur gaya lateral ekivalen .....	544
7.8.1	Geser dasar seismik .....	544
7.8.2	Penentuan perioda .....	555
7.8.3	Distribusi vertikal gaya gempa .....	577
7.8.4	Distribusi horisontal gaya gempa.....	577
7.8.5	Guling .....	5959
7.8.6	Penentuan simpangan antar lantai .....	5959
7.8.7	Pengaruh P-delta.....	6060
7.9	Analisis spektrum respons ragam.....	611
7.9.1	Jumlah ragam .....	611
7.9.2	Parameter respons ragam .....	611
7.9.3	Parameter respons terkombinasi.....	611
7.9.4	Skala nilai desain untuk respons terkombinasi.....	622
7.9.5	Distribusi geser horisontal .....	622

7.9.6	Pengaruh P-delta .....	622
7.9.7	Reduksi interaksi tanah struktur.....	622
7.10	Diafragma, kord dan kolektor .....	622
7.10.1	Desain diafragma .....	622
7.10.2	Elemen kolektor .....	633
7.11	Dinding struktural dan pengangkurannya .....	644
7.11.1	Desain untuk gaya melintang bidang .....	644
7.11.2	Pengangkur dinding struktural dan penyaluran gaya desain pada diafragma ...	644
7.12	Simpangan antar lantai tingkat dan deformasi.....	666
7.12.1	Batasan simpangan antar lantai tingkat .....	666
7.12.2	Defleksi diafragma .....	677
7.12.3	Pemisahan struktur .....	6767
7.12.4	Komponen-komponen yang membentang antarstruktur.....	6868
7.12.5	Kompatibilitas deformasi untuk kategori desain seismik D sampai F .....	6868
7.13	Desain fondasi .....	6868
7.13.1	Dasar Desain .....	6868
7.13.2	Material konstruksi .....	6868
7.13.3	Karakteristik beban-deformasi fondasi.....	6868
7.13.4	Reduksi penggulingan fondasi.....	6969
7.13.5	Persyaratan untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C.....	6969
7.13.6	Persyaratan untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D sampai F.....	700
7.14	Persyaratan perancangan dan pendetailan bahan .....	711
7.14.1	Persyaratan pendetailan tambahan untuk tiang baja dalam kategori desain seismik D sampai F.....	711
7.14.2	Persyaratan pendetailan tambahan untuk tiang beton.....	722
8	Kriteria desain struktur yang disederhanakan untuk dinding penumpu atau sistem rangka bangunan sederhana.....	766
8.1	Umum .....	766
8.1.1	Prosedur desain penyederhanaan.....	766
8.2	Dasar Desain .....	800
8.3	Pengaruh beban gempa dan kombinasi .....	800
8.3.1	Pengaruh beban gempa.....	800
8.3.2	Pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih 2,5 .....	822
8.4	Sistem penahan gaya gempa .....	833
8.4.1	Pemilihan dan batasan.....	833
8.4.2	Kombinasi sistem rangka .....	844

8.5	Fleksibilitas diafragma .....	844
8.6	Penerapan pembebanan .....	844
8.7	Persyaratan desain dan pendetailan .....	844
8.7.1	Sambungan .....	855
8.7.2	Bukaan atau sudut dalam bangunan .....	855
8.7.4	Diafragma .....	855
8.7.5	Pengangkuran dinding struktural .....	866
8.7.6	Dinding penumpu dan dinding geser .....	87
8.7.7	Pengukuran sistem non struktural .....	87
8.8	Prosedur analisis gaya lateral penyederhanaan.....	87
8.8.1	Geser dasar seismik .....	8887
8.8.2	Distribusi vertikal.....	88
8.8.3	Distribusi geser horisontal .....	8888
8.8.4	Guling .....	8989
8.8.5	Batasan simpangan antar lantai dan pemisahan bangunan.....	8989
9	Persyaratan desain seismik pada elemen nonstruktural .....	8989
9.1	Ruang lingkup.....	8989
9.1.1	Kategori desain seismik dan faktor keutamaan elemen .....	8989
9.1.2	Pengecualian-pengecualian .....	900
9.1.3	Penerapan ketentuan elemen nonstruktural pada struktur bangunan non-gedung.....	900
9.2	Pengaruh gempa rencana .....	900
9.2.1	Gaya gempa desain.....	900
9.2.2	Perpindahan relatif seismik.....	911
9.2.3	Perpindahan dalam struktur.....	922
9.2.4	Perpindahan antara struktur .....	922
9.3	Pengangkuran elemen nonstruktural.....	933
9.3.1	Umum .....	933
9.3.2	Gaya desain.....	933
9.3.3	Angkur pada beton atau bata .....	933
9.3.4	Kondisi pemasangan .....	944
9.3.5	Tambatan majemuk .....	944
9.3.6	Baut dengan pengencang mesin .....	944
9.3.7	Klip friksi .....	944
9.4	Elemen arsitektural .....	944
9.4.1	Umum .....	944
9.4.2	Gaya dan perpindahan .....	955
9.5	Elemen mekanikal dan elektrikl .....	96

9.5.1	Umum .....	96
10	Pengaruh gempa pada struktur bangunan non gedung.....	9898
10.1	Ruang Lingkup.....	9898
10.1.1	Struktur bangunan non gedung.....	9898
10.1.2	Prosedur analisis struktur.....	9898
10.1.3	Struktur bangunan non gedung yang menumpu pada struktur lain .....	9898
10.2	Ketentuan-ketentuan desain struktur .....	9999
10.2.1	Dasar perencanaan.....	9999
10.2.2	Faktor keutamaan gempa .....	1000
10.2.3	Struktur bangunan non gedung kaku .....	1000
10.2.4	Beban.....	1000
10.2.5	Perioda fundamental.....	1000
10.2.6	Persyaratan simpangan .....	100100
10.2.7	Spektrum respons spesifik-situs ( <i>site-specific response spectra</i> ) .....	1011
11	Prosedur respons riwayat waktu gempa .....	1033
11.1	Prosedur respons riwayat waktu linier .....	103
11.1.1	Persyaratan analisis.....	1033
11.1.2	Pemodelan.....	1033
11.1.3	Gerak tanah .....	1033
11.1.4	Parameter respons .....	1044
11.1.5	Distribusi gaya geser horisontal.....	1055
11.2	Prosedur respons riwayat waktu nonlinier .....	1055
11.2.1	Persyaratan analisis.....	1055
11.2.2	Pemodelan.....	1066
11.2.3	Gerak tanah dan pembebanan lainnya .....	10606
11.2.4	Parameter respons .....	10606
11.2.5	Penelaahan desain .....	10707
12	Struktur dengan isolasi dasar.....	10707
12.1	Ruang lingkup .....	10707
12.1.1	Variasi properti material .....	10808
12.2.1	Faktor keutamaan gempa .....	10808
12.2.2	Parameter percepatan respons spektral $MCE_R$ , $S_{MS}$ dan $S_{M1}$ .....	10808
12.2.3	Konfigurasi .....	10808
12.2.4	Sistem isolasi .....	10808
12.2.5	Sistem struktural .....	1100
12.2.6	Elemen-elemen struktural dan nonstruktural .....	1100



12.3	Gerak tanah untuk sistem isolasi .....	1111
12.3.1	Spektrum rencana .....	1111
12.3.2	Riwayat gerak tanah .....	1111
12.4	Pemilihan prosedur analisis .....	1111
12.4.1	Prosedur gaya lateral ekivalen .....	1111
12.4.2	Prosedur dinamis.....	1122
12.5	Prosedur gaya lateral ekivalen .....	1122
12.5.1	Umum .....	1122
12.5.2	Karakteristik deformasi sistem isolasi.....	1122
12.5.3	Perpindahan lateral minimum .....	1133
12.5.4	Gaya lateral minimum.....	111515
12.5.5	Distribusi vertikal gaya.....	11616
12.5.6	Batas simpangan antar lantai .....	11717
12.6	Prosedur analisis dinamis.....	11717
12.6.1	Umum .....	11717
12.6.2	Pemodelan.....	11717
12.6.3	Penjelasan prosedur.....	11818
12.6.4	Perpindahan dan gaya lateral minimum .....	11919
12.7	Peninjauan kembali perencanaan .....	1200
12.8	Pengujian.....	1211
12.8.1	Umum .....	1211
12.8.2	Pengujian prototipe.....	1211
12.8.3	Penentuan karakteristik gaya-lendutan .....	1233
12.8.4	Kelayakan benda uji .....	1233
12.8.5	Properti rencana sistem isolasi.....	1244
13	Interaksi tanah-struktur untuk desain bangunan tahan gempa.....	12525
13.1	Umum .....	125125
13.2	Prosedur penentuan gaya lateral ekivalen .....	125125
13.2.1	Gaya geser dasar ( <i>base shear</i> ) .....	12525
13.2.2	Distribusi vertikal gaya-gaya gempa.....	1300
13.2.3	Pengaruh lain.....	1300
13.3	Prosedur analisis ragam .....	1300
13.3.1	Beban geser dasar ragam .....	1300
13.3.2	Pengaruh ragam lainnya.....	1311
13.3.3	Nilai untuk desain .....	1322
13.4	Interaksi tanah dan struktur untuk perencanaan bangunan tahan gempa.....	1322
14	Peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko.....	1322

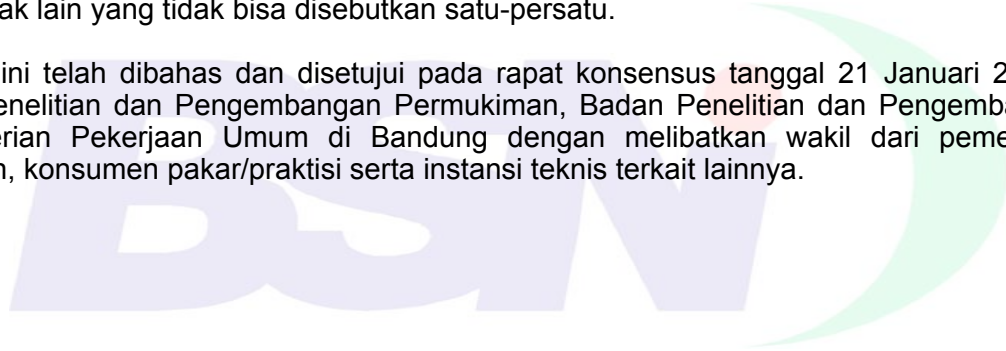
## Prakata

SNI Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung ini memberikan persyaratan minimum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Standar ini merupakan revisi dari SNI 03-1726-2002, dengan ditetapkannya SNI 1726:2012 ini, maka standar ini membatalkan dan menggantikan SNI 03-1726-2002. Perubahan mendasar dalam standar ini adalah ruang lingkup yang diatur standar ini diperluas dan penggunaan peta-peta gempa yang baru dan format penulisan ditulis sesuai dengan Pedoman Standarisasi Nasional (PSN) 08:2007.

Standar ini disusun oleh Subpanitia Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan pada Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil bekerja sama dengan tim revisi SNI 1726:2012 dan tim revisi peta gempa. Penyusunan standar ini juga didukung dan mendapat bantuan dari 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 (ITB), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Geologi, Badan Meteorologi-Klimatologi-Geofisika, dan United States Geological Survey (USGS), serta pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Standar ini telah dibahas dan disetujui pada rapat konsensus tanggal 21 Januari 2011 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum di Bandung dengan melibatkan wakil dari pemerintah, produsen, konsumen pakar/praktisi serta instansi teknis terkait lainnya.



## Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

### 1 Ruang lingkup

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

- a) Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kelayakannya;
- b) Struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur bangunan keairandan 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 standar dan pedoman perencanaan yang terkait, dan melibatkan tenaga-tenaga ahli utama di bidang rekayasa struktur dan geoteknik.

### 2 Acuan normatif

FEMA P-7502009, *National earthquake hazards reduction program (NEHRP) recommended gempa provisions for new buildings and other structures.*

IBC 2009, *International building code.*

ASCE/SEI 7-10, *Minimum desain loads for buildings and other structures.*

### 3 Istilah, definisi dan notasi

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

#### 3.1

##### **arah horisontal ortogonal utama**

arah ortogonal yang mengendalikan elemen penahan gaya lateral

#### 3.2

##### **balok kopel**

balok yang difungsikan untuk menghubungkan dua elemen dinding struktural agar bekerja sebagai satu kesatuan dalam menahan gaya lateral akibat gempa

#### 3.3

##### **beton dengan perkuatan**

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

**3.4**

**deformasi batas (*limit deformation*)**

deformasi yang nilainya dua kali nilai deformasi awal yang terjadi pada pembebanan sebesar 40 persen dari kuat maksimum

**3.5**

**deformasi ultimit (*ultimate deformation*)**

deformasi saat terjadi kegagalan, yaitu ketika beban yang dapat dipikul turun ke 80%, atau kurang dari kuat maksimum

**3.6**

**deformabilitas**

nilai perbandingan (rasio) dari deformasi ultimit terhadap deformasi batas

**3.7**

**elemen deformabilitas tinggi**

elemen yang deformabilitasnya tidak kurang dari 3,5

**3.8**

**elemen deformabilitas terbatas**

elemen yang tidak termasuk dalam kategori deformabilitas tinggi ataupun rendah.

**3.9**

**elemen deformabilitas rendah**

elemen di mana deformabilitasnya adalah 1,5 atau kurang

**3.10**

**degradasi (*scragging*)**

beban siklik atau kerja produk karet, termasuk isolator elastomer, mengakibatkan pengurangan properti kekakuan, yang sebagian akan dipulihkan dengan berjalannya waktu

**3.11**

**diafragma**

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

**3.12**

**efek P-delta**

efek sekunder yang bekerja pada elemen struktur, yang diakibatkan oleh penambahan beban vertikal sebagai akibat dari perpindahan horisontal struktur

**3.13**

**elemen batas (*boundary elements*)**

bagian dari diafragma dan dinding geser, di mana gaya lateral yang terjadi akan disalurkan melalui bagian ini

**3.14**

**fondasi tiang**

elemen fondasi dalam, termasuk di dalamnya fondasi tiang bor, tiang pancang, tiang tekan

**3.15**

**gaya geser dasar**

gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar

**3.16****gaya geser tingkat**

gaya geser yang bekerja pada tingkat yang ditinjau

**3.17****gempa desain**

pengaruh gempa yang besarnya dua per tiga dari pengaruh  $MCE_R$

**3.18****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

**3.19****gerak tanah gempa desain**

gerak tanah yang besarnya dua per tiga gerak tanah  $MCE_R$

**3.20****gerak tanah gempa maksimum yang dipertimbangkan**

pengaruh gempa terparah yang dipertimbangkan dalam tata cara ini, secara lebih spesifik, didefinisikan dalam 3.21 dan 3.22

**3.21****percepatan tanah puncak (PGA) gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik ( $MCE_G$ )**

gempa terparah dalam tata cara 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 Butir 6.7.3, dan prosedur spesifik situs (*site specific*) diatur dalam 6.9

**3.22****percepatan respons gerak tanah gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan risiko tertarget ( $MCE_R$ )**

gempa terparah dalam tata cara ini, ditetapkan dalam arah/orientasi yang menghasilkan respons gerak tanah horisontal maksimum terbesar, dan disesuaikan dengan risiko yang ditargetkan. dalam tata cara ini, prosedur untuk menetapkan  $MCE_R$  diatur dalam pasal 6, dan prosedur spesifik situs diatur dalam 6.9

**3.23****kekakuan efektif**

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

**3.24****kelas situs**

klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan

**3.25**

**komponen**

bagian dari sistem arsitektural, elektrik, atau mekanikal

**3.26**

**komponen nonstruktural**

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

**3.27**

**komponen fleksibel**

komponen nonstruktural yang mempunyai perioda getar alami lebih besar dari atau sama dengan 0,06 detik

**3.28**

**komponen kaku**

komponen nonstruktural yang mempunyai perioda getar alami kurang dari atau sama dengan 0,06 detik

**3.29**

**lendutan maksimum**

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

**3.30**

**lendutan rencana**

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

**3.31**

**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

**3.32**

**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 prototipe masing-masing isolator

**3.33**

**ortogonal**

dalam dua arah, dan keduanya membentuk sudut 90°

**3.34**

**partisi**

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

**3.35****pemisahan isolasi**

batas antara bagian atas struktur, yang terisolasi, dengan bagian bawah struktur, yang bergerak secara kaku dengan tanah

**3.36****pur(*pile cap*)**

elemen fondasi dalam yang menggabungkan fondasi tiang, termasuk di sini adalah balok pengikat dan rakit fondasi

**3.37****rasio simpangan antar lantai**

simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai ( $h_x$ ) tersebut

**3.38****rasio tulangan longitudinal**

luas total dari penampang tulangan longitudinal dibagi dengan luas penampang dari beton

**3.39****redaman efektif**

nilai redaman viscous ekivalen sesuai dengan energi disipasi pada waktu respons siklik sistem isolasi

**3.40****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

**3.41****simpangan antar lantai**

perpindahan horisontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya seperti yang didefinisikan pada 7.8.6

**3.42****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 dipasal<sup>12</sup>

**3.43****sistem pembatasan perpindahan**

suatu kumpulan elemen-elemen struktural yang membatasi perpindahan lateral dari struktur dengan isolasi seismik akibat gempa maksimum yang dipertimbangkan



**3.44**

**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

**3.45**

**rangka bresing konsentris**

rangka bresing yang bagiannya 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

**3.46**

**rangka bresing eksentris**

rangka bresing diagonal yang ujung bresingnya dengan jarak 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

**3.47**

**sambungan positif**

sambungan yang secara teoritis tidak perlu diperhitungkan menahan gaya-gaya utama searah dengan sumbu elemen struktur, tetapi di dalam disain harus diperhitungkan sebesar minimum 5 persen dari beban mati ditambah beban hidup tidak terfaktor di arah elemen yang bersangkutan.

**3.48**

**sistem dinding penumpu**

sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, yang beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing

**3.49**

**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

**3.50**

**sistem interaksi dinding geser dan rangka**

sistem struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa

**3.51**

**sistem kolom kantilever**

sistem struktur penahan gaya gempa, di mana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom yang berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung

**3.52**

**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



**3.53****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)

**3.54****struktur non gedung**

suatu struktur, tetapi bukan gedung, dibangun menjadi suatu tipe bangunan yang termasuk dalam pasal 10, dengan batasan-batasan yang diatur dalam 10.1.1

**3.55****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 9 atau Tabel 20

**3.56****struktur tipe bandul terbalik**

suatu struktur kantilever langsing yang lebih dari 50 persen massa strukturnya terpusat di puncak struktur, dan stabilitas puncak strukturnya ditentukan oleh kekangan rotasi terhadap puncak elemen kantilever

**3.57****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

**3.58****notasi**

$A_0$	= luas tapak fondasi ( $m^2$ )
$A_0$	= percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana
$A_x$	= faktor amplifikasi torsi (lihat 7.8.4.3)
$a_i$	= percepatan di tingkat $i$ yang diperoleh melalui analisis ragam, dijelaskan pada 9.2.1
$a_p$	= faktor amplifikasi elemen (lihat 9.2.1)
$B_D$	= koefisien numerik seperti yang diatur dalam Tabel 22 untuk redaman efektif yang sama dengan $\beta_D$
$B_M$	= koefisien numerik seperti yang diatur dalam Tabel 22 untuk redaman efektif yang sama dengan $\beta_M$
$b$	= ukuran denah struktur terpendek, dalam mm diukur tegak lurus $d$
$C_d$	= faktor amplifikasi defleksi, seperti yang diberikan pada Tabel 9
$C_R$	= koefisien risiko spesifik situs pada suatu periode (lihat 6.10.2.1)
$C_{RS}$	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada periode pendek
$C_{R1}$	= nilai terpeta koefisien risiko spesifik situs pada periode 1 detik

- $C_s$  = koefisien respons gempa (lihat 7.8.1.1 dan 13)  
 $C_{Vx}$  = faktor distribusi vertikal (lihat 7.8.3)  
 $c$  = jarak dari sumbu netral suatu elemen yang mengalami lentur, hingga serat yang mengalami regangan tekan maksimum, dinyatakan dalam mm  
 $D$  = pengaruh dari beban mati  
 $D_D$  = perpindahan rencana, dinyatakan dalam milimeter (mm), di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 77  
 $D_M$  = perpindahan maksimum, dinyatakan dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 79  
 $D_{TD}$  = total perpindahan rencana, dinyatakan dalam milimeter (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 81  
 $D_{TM}$  = total perpindahan maksimum, dinyatakan dalam milimeter (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 82  
 $D_s$  = tebal total lapisan tanah pada Persamaan 107  
 $d_c$  = tebal total lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.3  
 $d_i$  = tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.3  
 $d_s$  = tebal total lapisan tanah non kohesif di dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2  
 $E$  = pengaruh beban gempa (lihat 8.3.1)  
 $E_h$  = pengaruh gaya gempa horisontal seperti ditentukan dalam 8.3.1.1  
 $E_v$  = pengaruh gaya gempa vertikal seperti ditentukan dalam 8.3.1.2  
 $E_{loop}$  = energi yang dipancarkan, dinyatakan dalam kilonewton milimeter (kN-mm), di suatu unit isolator selama satu siklus penuh dari beban reversibel selama suatu tes perpindahan dengan jangkauan dari  $\Delta^+$  ke  $\Delta^-$ , seperti yang diukur berdasarkan luas daerah yang dilingkupi oleh *loop* kurva gaya-defleksi (*force-deflection curve*)  
 $e$  = 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, dinyatakan 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  $\Delta^-$   
 $F^+$  = gaya positif, dinyatakan dalam kilo newton (kN) suatu unit isolator selama satu siklus tunggal pada pengujian prototipe dengan satu amplitudo perpindahan  $\Delta^+$   
 $F_a$  = koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik), lihat 6.2  
 $F_{PGA}$  = koefisien situs untuk PGA, lihat 6.7.3  
 $F_v$  = koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik), 6.2  
 $F_i, F_x$  = bagian dari gaya geser dasar,  $V$ , pada tingkat  $i$  atau  $x$

$F_p$	= gaya gempa yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur
$G$	= $\mathcal{W}_s^2 / g$ ; modulus geser rata-rata tanah di bawah fondasi untuk regangan besar (Pa)
$G_o$	= $\mathcal{W}_{so}^2 / g$ ; modulus geser rata-rata tanah di bawah fondasi untuk regangan kecil (Pa)
$g$	= percepatan gravitasi, dinyatakan dalam meter per detik kuadrat (m/detik <sup>2</sup> )
$H$	= tebal lapisan tanah, dinyatakan dalam meter (m)
$h$	= tinggira-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap, lihat pasal 9
$\bar{h}$	= tinggi efektif dari bangunan, dinyatakan dalam meter (m), seperti ditentukan dalam 13.2.1.1
$h_i, h_x$	= tinggi dari dasar sampai tingkat $i$ atau $x$ (lihat 7.8.3), dinyatakan dalam meter (m)
$I_e$	= faktor keutamaan (lihat 4.1.2)
$I_p$	= faktor keutamaan komponen (Persamaan 64)
$K_y$	= kekakuan lateral fondasi (lihat pasal 13), dinyatakan dalam newton per meter (N/m)
$K_\theta$	= kekakuan rotasional fondasi seperti yang didefinisikan dalam pasal 13, dinyatakan dalam newton meter per radian (N-m/radian)
$k$	= eksponen yang terkait dengan perioda struktur (lihat 7.8.3)
$\bar{k}$	= kekakuan gedung
$k_{Dmax}$	= kekakuan efektif maksimum, dinyatakan dalam kilonewton per milimeter (kN/mm), dari sistem isolasi pada saat perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 90
$k_{Dmin}$	= kekakuan efektif minimum, dinyatakan dalam kilonewton per milimeter (kN/mm), dari sistem isolasi pada saat perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 91
$k_{Mmax}$	= kekakuan efektif maksimum, dinyatakan dalam kilonewton per milimeter (kN/mm), dari sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 92
$k_{Mmin}$	= kekakuan efektif minimum, dinyatakan dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum dalam arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 93
$k_{eff}$	= kekakuan efektif satu unit isolator, seperti yang ditentukan dalam Persamaan 88
$L$	= pengaruh beban hidup di pasal 12
$L_0$	= panjang keseluruhansisi fondasi, dinyatakan dalam meter (m), pada arah yang dianalisis, lihat 13.2.1.2
MCE	= gempa tertimbang maksimum
MCE <sub>G</sub>	= nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum
$M_0, M_{01}$	= momen guling pada bidang antara tanah-fondasi seperti yang ditetapkan dalam pasal 13, dinyatakan dalam newton meter (N-m)
$M_t$	= momen torsi yang diakibatkan eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan (lihat 7.8.4.2)
$M_{ta}$	= momen torsi tak terduga (lihat 7.8.4.2)
$N$	= tahanan penetrasi standar
$\bar{N}$	= tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2

- $\bar{N}_{ch}$  = tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non kohesif dalam lapisan 30 m paling atas, lihat 5.4.2
- $PGA$  = percepatan muka tanah puncak  $MCE_G$  terpeta;
- $PGA_M$  = percepatan muka tanah puncak  $MCE_G$  yang sudah disesuaikan akibat pengaruh kelas situs, lihat 6.7.3
- $PI$  = indeks plastisitas tanah
- $P_x$  = total beban rencana vertikal tidak terfaktor pada dan di atas tingkat x, seperti yang digunakan dalam 7.8.7
- $Q_E$  = pengaruh gaya gempa horisontal
- $R$  = beban air hujan (lihat 4.2)
- $R$  = koefisien modifikasi respons, lihat Tabel 9, 17, 20 atau 21
- $R_p$  = faktor modifikasi respons elemen
- $r_a$  = panjang karakteristik untuk fondasi seperti yang didefinisikan dalam Persamaan 102, dinyatakan dalam meter (m)
- $r_m$  = panjang karakteristik untuk fondasi seperti yang didefinisikan dalam Persamaan 103, dinyatakan dalam meter (m)
- $S_S$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.1.1
- $S_1$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen; didefinisikan dalam 6.1.1
- $S_{aM}$  = parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada periode tertentu;
- $S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.6.4 (Lihat 8.8.1)
- $S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 6.4.4
- $S_{MS}$  = parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
- $S_{M1}$  = percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs, didefinisikan dalam 6.2
- $s_u$  = kuat geser niralir, lihat 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 5.4.3
- $T$  = periode fundamental bangunan seperti ditentukan dalam 7.8.2
- $\tilde{T}, \tilde{T}_1$  = periode fundamental efektif bangunan, ditetapkan dalam pasal 13
- $T_0$  =  $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- $T_S$  =  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- $T_D$  = periode efektif, dinyatakan dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada saat perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 78
- $T_M$  = periode efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada saat perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 80

- 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 desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau, seperti ditentukan menggunakan prosedur dalam 8.8.1
- $V_i$  = nilai desain dari gaya geser dasar akibat gempa, dijelaskan dalam 7.9.4.1
- $V_x$  = geser gempa desain di tingkat  $x$  (lihat 7.8.4 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 83
- $V_s$  = total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan dalam Persamaan 84
- $\tilde{V}$  = 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
- $\Delta V$  = reduksi  $V$  (lihat pasal 13)
- $\Delta V_1$  = reduksi  $\tilde{V}_1$  (lihat pasal 13)
- $v_s$  = kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil ( $< 10^{-3}$  persen), dinyatakan dalam meter per detik (m/detik), (lihat pasal 13)
- $\bar{v}_s$  = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas, (lihat 5.4.1)
- $v_{si}$  = 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
- $W$  = beban angin (lihat pasal 4.2)
- $W$  = berat seismik efektif bangunan (lihat 7.7.2). Dalam perhitungan untuk bangunan dengan isolasi dasar,  $W$  didefinisikan sesuai dengan pasal 13
- $\bar{W}$  = berat seismik efektif struktur sesuai dengan yang didefinisikan dalam pasal 13
- $w$  = kadar air tanah (persen)
- $W_c$  = beban gravitasi dari komponen bangunan
- $W_p$  = berat dinding sesuai luasan tributari angkur (lihat 7.11.2.1)
- $W_p$  = berat operasional elemen (lihat 9.2.1)
- $w_i$  = tributari berat sampai tingkat  $i$  (lihat 7.10.1.1)
- $w_x$  = lihat 8.8.2
- $x$  = tingkat yang sedang ditinjau, 1 menandakan tingkat pertama setelah lantai dasar
- $y$  = jarak, dinyatakan dalam milimeter (mm), antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban gempa yang ditinjau
- $\Delta$  = simpangan antar lantai tingkat desain (Persamaan 35)
- $\Delta_a$  = simpangan antar lantai yang diijinkan (lihat 7.12.1)

- $\Delta_{\text{fallout}}$  = perpindahan relatif akibat gempa  
 $\Delta^+$  = perpindahan positif maksimum suatu unit isolator setiap siklus selama pengujian prototipe;  
 $\Delta^-$  = perpindahan negatif minimum suatu unit isolator setiap siklus selama pengujian prototipe  
 $\delta_{\text{max}}$  = perpindahan maksimum di tingkat  $x$ , dinyatakan dalam milimeter (mm), (lihat 7.8.4.3)  
 $\delta_M$  = perpindahan respon inelastis maksimum (lihat 7.12.3)  
 $\delta_{MT}$  = total jarak terpisah antar struktur yang berdampingan (lihat 7.12.3)  
 $\delta_{\text{avg}}$  = rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat  $x$  (lihat 7.8.4.3)  
 $\delta_x$  = defleksi pusat massa di tingkat  $x$  (lihat 7.8.6)  
 $\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan dalam 7.8.6 yang ditentukan dengan analisis elastis  
 $\theta$  = koefisien stabilitas untuk pengaruh  $P - \Delta$  seperti yang ditentukan dalam 7.8.7  
 $\rho$  = faktor redundansi struktur, (lihat 7.3.4.2)  
 $\rho_s$  = rasio tulangan spiral untuk pracetak atau tiang prategang  
 $\lambda$  = faktor pengaruh waktu  
 $\Omega_0$  = faktor kuat lebih, seperti yang didefinisikan pada Tabel 9  
 $\tilde{\beta}$  = fraksi dari redaman kritis sesuai dengan pasal 13  
 $\beta_o$  = faktor redaman fondasi seperti yang ditetapkan dalam pasal 13  
 $\beta_D$  = redaman efektif sistem isolasi pada saat perpindahan rencana seperti yang ditentukan dalam Persamaan 93  
 $\beta_M$  = redaman efektif sistem isolasi pada saat perpindahan maksimum seperti yang ditentukan dalam Persamaan 94  
 $\beta_{\text{eff}}$  = redaman efektif sistem isolasi seperti yang ditentukan dalam Persamaan 89  
 $\sum E_D$  = total energi disipasi, dinyatakan dalam kilonewton milimeter (kN-mm), sistem isolasi selama satu siklus penuh dari respons pada saat perpindahan desain,  $D_D$   
 $\sum E_M$  = total energi disipasi, dinyatakan dalam kilonewton milimeter (kN-mm), sistem isolasi selama satu siklus penuh dari respons pada saat perpindahan maksimum,  $D_M$   
 $\sum |F_D^+|_{\text{max}}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan positif sama dengan  $D_D$   
 $\sum |F_D^+|_{\text{min}}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan positif sama dengan  $D_D$   
 $\sum |F_D^-|_{\text{max}}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan negatif sama dengan  $D_D$   
 $\sum |F_D^-|_{\text{min}}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan negatif sama dengan  $D_D$



$\sum |F_M^+|_{\max}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan positif sama dengan  $D_M$

$\sum |F_M^+|_{\min}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (kN), pada saat perpindahan positif sama dengan  $D_M$

$\sum |F_M^-|_{\max}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya maksimum dari semua unit isolator, dalam kN, pada saat perpindahan negatif sama dengan  $D_M$

$\sum |F_M^-|_{\min}$  = penjumlahan nilai mutlak gaya minimum dari semua unit isolator, dinyatakan dalam kilonewton (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

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

#### 4.1.2 Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 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 didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 1- Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III



**Tabel 1- Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

**Tabel 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 non gedung harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan 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.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$

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  $500 \text{ kg/m}^2$ .

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 seismik harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 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 seismik harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 7.4 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa  $E$ .

## 5 Prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik

### 5.1 Klasifikasi situs

Pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3 dan 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 desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 3. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya. 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 6.10.1 harus dilakukan untuk tanah kelas situs  $SF$ , jika tidak, pengecualian terhadap 5.3.1 terpenuhi.

### 5.3 Definisi kelas situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari Tabel 3 dan pasal-pasal berikut.

**Tabel 3 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	$\geq 100$
$SD$ (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

**Tabel 3 Klasifikasi situs (lanjutan)**

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
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, $w \geq 40 \%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	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/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

**CATATAN:** 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 6.10.1 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 5.3 dan menggunakan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  yang ditentukan dari Tabel 4 dan 5.

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/setengah 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 5.4:

1.  $\bar{v}_s$  lapisan 30 m paling atas (metode  $\bar{v}_s$ );
2.  $\bar{N}$  lapisan 30 m paling atas (metode  $\bar{N}$ );
3.  $\bar{N}_{ch}$  untuk lapisan tanah non-kohefif ( $PI < 20$ ) 30 m paling atas,  $\bar{s}_u$  untuk lapisan tanah kohefif ( $PI > 20$ ) 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 kohefif dan yang lainnya non-kohefif, maka  $k$  adalah jumlah lapisan kohefif dan  $m$  adalah jumlah lapisan non-kohefif. 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:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (1)$$

#### Keterangan:

$d_i$  = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter;

$v_{si}$  = kecepatan gelombang geser lapisan  $i$  dinyatakan dalam meter per detik (m/detik);

$\sum_{i=1}^n d_i = 30$  meter.

**5.4.2 Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata,  $\bar{N}$ , dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif,  $\bar{N}_{ch}$**

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

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \tag{2}$$

di mana  $N_i$  dan  $d_i$  dalam Persamaan 2 berlaku untuk tanah non-kohefif, tanah kohefif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \tag{3}$$

di mana  $N_i$  dan  $d_i$  dalam Persamaan 3 berlaku untuk lapisan tanah non-kohefif saja, dan  $\sum_{i=1}^m d_i = d_s$ ,  $\sum_{j=1}^m d_j = d_s$ , di mana  $d_s$  adalah ketebalan total dari lapisan tanah non-kohefif di 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 305 pukulan/m. Jika ditemukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai  $N_i$  tidak boleh diambil lebih dari 305 pukulan/m.

**5.4.3 Kuat geser niralir rata-rata,  $\bar{s}_u$**

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

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \tag{4}$$

dimana

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

**Keterangan:**

- $d_c$  = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohefif di dalam lapisan 30 meter paling atas
- $PI$  =indeks plastisitas, berdasarkan tata cara yang berlaku
- $w$  =kadar air dalam persen, sesuai tata cara yang berlaku
- $s_{ui}$  = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa seperti yang ditentukan dan sesuai dengan tata cara 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  $S_1$  (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 pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_1 \leq 0,04$  g dan  $S_s \leq 0,15$  g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam 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 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 parameter-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:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (5)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (6)$$

#### Keterangan:

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

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

dan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti Tabel 4 dan Tabel 5. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 8, maka nilai  $F_a$  harus ditentukan sesuai 8.8.1 serta nilai  $F_v$ ,  $S_{MS}$ , dan  $S_{M1}$  tidak perlu ditentukan.



**Tabel 4 Koefisien situs,  $F_a$**

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

**CATATAN:**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

**Tabel 5 Koefisien situs,  $F_v$**

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE <sub>R</sub> terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

**CATATAN :**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

**6.3 Parameter percepatan spektral desain**

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \tag{7}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \tag{8}$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai  $S_{DS}$  harus ditentukan sesuai 8.8.1 dan nilai  $S_{D1}$  tidak perlu ditentukan.



#### 6.4 Spektrum respons Desain

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

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

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (9)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (10)$$

Keterangan:

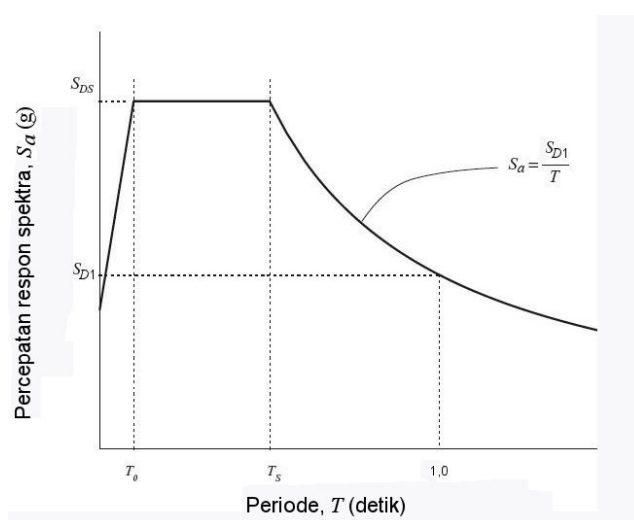
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain 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 1 - Spektrum respons desain**

### 6.5 Kategori desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain 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,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , sesuai 6.3. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 6 atau 7, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur,  $T$ .

Apabila  $S_1$  lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 6 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 7.8.2.1 adalah kurang dari  $0,8T_s$ , di mana  $T_s$  ditentukan sesuai dengan 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 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik,  $C_s$ ;
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 7.3.1 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada pasal 8, kategori desain seismik diperkenankan untuk ditentukan dari Tabel 6, dengan menggunakan nilai  $S_{DS}$  yang ditentukan dalam 8.8.1.

**Tabel 6-Kategori desain 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 7-Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik**

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

## 6.6 Persyaratan perancangan untuk kategori desain seismik A

Bangunan gedung dan non gedung dengan kategori desain seismik A hanya perlu memenuhi ketentuan-ketentuan di bawah ini. Elemen non-struktural dalam kategori desain seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan desain seismik.

### 6.6.1 Persyaratan beban gempa

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

### 6.6.2 Sambungan untuk lintasan beban seismik

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:

$$F_x = 0,01W_x \quad (11)$$

Keterangan:

$F_x$  = 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 pengaman untuk menahan gaya horisontal yang bekerja paralel terhadap elemen struktur harus disediakan untuk masing-masing balok, gelagar (*girder*), atau elemen rangka, baik secara langsung ke elemen-elemen penumpunya atau ke pelat lantai yang

didesain 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 kN/m<sup>2</sup>.

## 6.7 Bahaya (*hazard*) geologi dan investigasi geoteknik

### 6.7.1 Batasan situs untuk kategori desain seismik E dan F

Struktur yang tergolong dalam kategori desain 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 desain seismik C hingga F

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

- a. Ketidakstabilan lereng;
- b. Likuifaksi;
- c. Penurunan total dan beda penurunan;
- d. Perpindahan permukaan akibat patahan atau serakan lateral (*lateral spread*) atau aliran lateral (*lateral flow*) akibat getaran seismik.

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

**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 desain seismik D hingga F

Laporan penyelidikan geoteknik untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F harus mencakup semua hal yang berlaku di bawah ini:

1. Penentuan tekanan lateral tanah seismik dinamik pada dinding besmen dan dinding penahan akibat gerak tanah gempa rencana;

2. Potensi likuifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitudo gempa, dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan ( $MCE_G$ ). Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan (1) studi spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, yang dijelaskan dalam 6.9 atau (2) percepatan tanah puncak  $PGA_M$ , dari Persamaan 12.

$$PGA_M = F_{PGA} PGA \quad (12)$$

**Keterangan:**

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

$PGA$  = percepatan tanah puncak terpetakan yang ditunjukkan pasal 14

$F_{PGA}$  = koefisien situs dari Tabel 8.

3. 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 desain struktur.

**Tabel 8-Koefisien Situs  $F_{PGA}$**

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat 6.9				

**CATATAN** Gunakan interpolasi linier untuk mendapatkan nilai  $PGA$  antara.

### 6.8 Spektrum respons gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (*Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake/MCE<sub>R</sub>*)

Jika spektrum respons gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) dibutuhkan, maka spektrum respons desain harus dikalikan dengan angka 1,5.

### 6.9 Prosedur gerak tanah pada spesifik-situs

Prosedur gerak tanah pada spesifik-situs yang ada dalam 6.10 ini boleh digunakan untuk penentuan gerak tanah untuk setiap struktur. Analisis respons situs harus dilakukan dengan mengikuti 6.10.1 ini untuk struktur pada kelas situs *SF*, jika tidak ada pengecualian terhadap 5.3.1 yang dapat diberlakukan. Untuk struktur yang menggunakan isolasi seismik dan untuk

struktur dengan sistem redaman pada situs dengan  $S_1$  lebih besar dari atau sama dengan 0,6, maka analisis bahaya (*hazard*) gerak tanah harus dilakukan dengan mengikuti 6.10.2.

## 6.10 Prosedur gerak tanah spesifik situs untuk desain seismik

### 6.10.1 Analisis respons situs

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

#### 6.10.1.1 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 dalam 6.8 atau 6.10.2. Kecuali telah dilakukan analisis bahaya gerak tanah pada spesifik-situs yang dijelaskan dalam 6.10.2, maka spektrum respons gempa  $MCE_R$  harus dikembangkan berdasarkan prosedur yang ada dalam 6.8, dengan asumsi kelas situs *SB*. Jika batuan dasarnya merupakan kelas situs *SA*, maka spektrum respons harus disesuaikan menggunakan koefisien situs yang diberikan dalam 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 didesain.

#### 6.10.1.2 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 pasal 5. Dalam hal seperti ini, maka spektrum-respons percepatan riwayat-waktu gempa  $MCE_R$  yang dikembangkan dalam 6.10.1.1 harus disesuaikan ke atas permukaan tanah menggunakan koefisien-koefisien situs dalam 6.2 yang konsisten dengan klasifikasi tanah pada profil dasar.

#### 6.10.1.3 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



ekivalen, 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 per periode demi periode) yang didapat dari analisis respons spesifik-situs. Gerak dasar permukaan yang direkomendasikan dari hasil analisis harus menggambarkan pertimbangan atas sensitivitas respons terhadap ketidakpastian sifat-sifat tanah, kedalaman model tanah, dan gerak tanah masukan (*input motion*).

### 6.10.2 Analisis bahaya (*hazard*) gerak tanah untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ )

Persyaratan yang ada dalam 6.10.2 ini harus dipenuhi jika analisis bahaya (*hazard*) gerak tanah dilakukan sesuai 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 6.10.1. 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.

#### 6.10.2.1 Gerak tanah gempa $MCE_R$ probabilistik

Percepatan respons spektral probabilistik harus diambil sebagai percepatan respons spektral pada arah horisontal maksimum yang diwakili oleh spektrum respons percepatan (redaman 5 persen) dengan level kejadian gempa 1 persen kemungkinan keruntuhan bangunan dalam kurun waktu 50 tahun. Untuk keperluan standar ini, ordinat spektrum respons gerak tanah secara probabilistik ini harus ditentukan berdasarkan ketentuan salah satu dari Metoda-1 atau Metoda-2 di bawah ini:

Metoda – 1:

Pada setiap periode 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  $C_{R1}$  yang secara berturut-turut mengacu pada Gambar 12 dan 13 pada pasal 14. Pada periode-periode spektrum respons yang lebih kecil atau sama dengan 0,2 detik, maka  $C_R$  harus diambil sama dengan nilai  $C_{RS}$ , sedangkan untuk periode yang lebih besar dari 1 detik,  $C_R$  diambil sama dengan nilai  $C_{R1}$ . Pada periode 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  $C_{R1}$ .

Metoda – 2:

Pada setiap periode spektral respons di mana percepatan akan dihitung, ordinat dari spektrum respons gerak tanah secara probabilistik yang percepatannya akan dihitung, ditentukan dari integrasi iteratif dari kurva bahaya (hazard) dari situs-spesifik dengan suatu fungsi kepadatan probabilitas log-normal yang mewakili kemudah-runtuhan (collapse fragility), yaitu probabilitas keruntuhan sebagai fungsi dari percepatan spektral respons. Ordinat dari percepatan spektrum respons gerak tanah secara probabilistik pada setiap periode harus mencapai 1 persen kemungkinan keruntuhan bangunan dalam kurun waktu 50 tahun untuk suatu kemudah-runtuhan yang memiliki (i) 10 persen kemungkinan keruntuhan pada ordinat dari spektrum respons gerak tanah secara probabilistik yang ditinjau tersebut (ii) nilai standar deviasi logaritmik sebesar 0,65.

**6.10.2.2 Gerak tanah gempa MCE<sub>R</sub> deterministik**

Percepatan respons spektral deterministik harus dihitung sebagai percepatan respons spektral pada arah horisontal maksimum dengan ketentuan 84<sup>th</sup> 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 tata cara ini, ordinat dari spektrum-respons gerak tanah secara deterministik ini tidak boleh diambil nilai lebih kecil dari ordinat spektra-respons yang ditentukan Gambar 2, di mana  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan pada Tabel 4 dan Tabel 5, dengan nilai  $S_s$  diambil sebesar 1,5 dan nilai  $S_1$  diambil sebesar 0,6.

**6.10.2.3 Gempa MCE<sub>R</sub> spesifik-situs**

Percepatan respons spektral spesifik-situs gempa MCE<sub>R</sub> pada setiap perioda,  $S_{aM}$ , harus diambil sebagai nilai terkecil dari percepatan respons spektral yang didapatkan secara probabilistik, seperti yang dibahas dalam 6.10.2.1 dan secara deterministik, seperti PGA<sub>M</sub> yang dibahas dalam 6.10.2.2.

**6.10.3 Spektrum-respons desain**

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

$$S_a = \frac{2}{3} S_{aM} \tag{13}$$

di mana  $S_{aM}$  adalah percepatan spektral-respons gempa MCE<sub>R</sub> yang didapatkan dalam 6.10.1 atau 6.10.2. Percepatan spektral-respons desain untuk berbagai perioda tidak boleh diambil lebih kecil dari 80 persen nilai  $S_a$  yang ditentukan dalam 6.4. Untuk situs yang dikategorikan sebagai kelas situs SF, yang disyaratkan memerlukan analisis respons spesifik-situs sesuai 6.9, percepatan spektral-respons desain untuk setiap perioda tidak boleh diambil lebih kecil dari 80 persen  $S_a$  yang ditentukan pada kelas situs SE yang mengacu dalam 6.4.

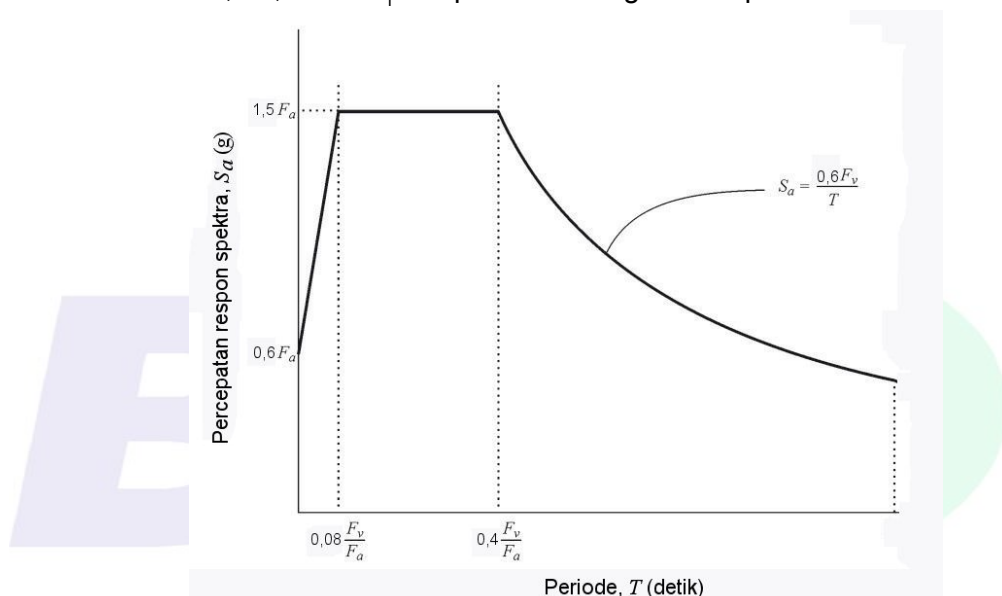
**6.10.4 Parameter-parameter percepatan desain**

Jika prosedur spesifik-situs digunakan untuk menentukan gerak tanah desain sesuai 6.10.3, 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  $S_{D1}$  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 dalam 6.2 untuk  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ , dan dalam 6.3 untuk  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

Untuk penerapan dalam prosedur gaya lateral ekivalen, maka percepatan spektra spesifik-situs,  $S_a$ , pada perioda  $T$  tertentu harus diijinkan untuk menggantikan  $S_{D1}/T$  pada Persamaan 23. Parameter  $S_{DS}$  yang dihitung pada pasal ini dibolehkan untuk digunakan pada Persamaan 22, 24, Nilai  $S_1$  dari peta harus digunakan pada Persamaan 25.



**Gambar 2 - Batas Bawah Spektrum Respons  $MCE_R$  Deterministik**

### 6.10.5 Percepatan tanah puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik ( $MCE_G$ )

#### 6.10.5.1 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.

#### 6.10.5.2 Percepatan tanah puncak gempa $MCE_G$ deterministik

Percepatan tanah puncak rata-rata geometrik secara deterministik harus dihitung sebagai nilai terbesar dari 84<sup>th</sup> *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 8 dengan nilai PGA diambil sebesar 0,6 g.

### **6.10.5.3 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 (lihat 6.10.5.1) dan nilai yang didapatkan secara Deterministik (lihat 6.10.5.2). Nilai ini juga tidak boleh lebih kecil dari 80 persen nilai  $PGA_M$  yang ditentukan dalam Persamaan 12.

## **7 Perencanaan umum struktur bangunan gedung**

### **7.1 Struktur atas dan struktur bawah**

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur besmen, dan/atau struktur fondasinya.

#### **7.1.1 Persyaratan dasar**

Prosedur analisis dan desain 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 desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain 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 desain. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai yang ditunjukkan dalam 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 gempa 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 desain yang disederhanakan pada pasal 8 boleh digunakan sebagai pengganti persyaratan dalam 7.1 hingga 7.12, yang dikenai semua batasan yang termuat dalam pasal 8.

#### **7.1.2 Desain elemen struktur, desain sambungan, dan batasan deformasi**

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

#### **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 gempa, dan sambungan harus

mampu menyalurkan gaya gempa ( $F_p$ ) 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 desain yang mampu menyalurkan gaya gempa yang dihitung sebagai nilai terbesar antara  $0,133S_{DS}$  kali berat bagian yang lebih kecil atau 5 persen berat bagian tersebut. Gaya sambungan ini tidak berlaku pada desain sistem penahan gaya gempa secara keseluruhan. Gaya desain sambungan tidak perlu melebihi gaya maksimum yang dapat disalurkan oleh sistem struktur ke sambungan.

#### 7.1.4 Sambungan ke tumpuan

Sambungan pengaman 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 didesain bekerja sebagai diafragma. Jika sambungan tersebut melalui diafragma, maka elemen tumpuan elemen struktur harus juga dihubungkan pada diafragma itu. Sambungan harus mempunyai kuat desain minimum sebesar 5 persen dari reaksi beban mati ditambah beban hidup.

#### 7.1.5 Desain fondasi

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

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 besmen. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri, gaya kinematik dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya.

Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada lantai dasar/muka tanah.

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.

Struktur bawah tidak boleh gagal dari struktur atas. Desain detail kekuatan (*strength*) struktur bawah harus memenuhi persyaratan beban gempa rencanaberdasarkan 4.2.2. Analisis deformasi dan analisis lain seperti likuifaksi, rambatan gelombang, penurunan total dan diferensial, tekanan tanah lateral, deformasi tanah lateral, reduksi kuat geser, reduksi daya dukung akibat deformasi, reduksi daya dukung aksial dan lateral fondasi tiang, pengapungan (*flotation*) struktur bawah tanah, dan lain-lain, dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan beban kerja (*working stress*) yang besarnya minimum sesuai dengan 4.2.3.

#### 7.1.6 Persyaratan desain dan pendetailan material

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

## 7.2 Struktur penahan beban gempa

### 7.2.1 Pemilihan sistem struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 9 atau kombinasi sistem seperti dalam 7.2.2, 7.2.3 dan 7.2.4. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan koefisien amplifikasi defleksi,  $C_d$ , sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antarlantai tingkat desain.

Setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 9 dan persyaratan tambahan yang ditetapkan dalam 7.14.

Sistem penahan gaya gempa yang tidak termuat dalam Tabel 9 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 9 untuk nilai-nilai ekuivalen dari koefisien modifikasi respons,  $R$ , koefisien kuat-lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan factor amplifikasi defleksi,  $C_d$ .

### 7.2.2 Kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda

Sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9.

**Tabel 9-Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa**

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggistruktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>	<b>7.1.1</b>	<b>7.1.2</b>	<b>7.1.3</b>	<b>7.1.4</b>	<b>7.1.5</b>	<b>7.1.6</b>	<b>7.1.7</b>	<b>7.1.8</b>
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¼	TB	48	TI	TI	TI

Tabel 9-Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
10.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
11.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
13.Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14.Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	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	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	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18.Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
<b>B.Sistem rangka bangunan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 <sup>l</sup>	10 <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13.Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14.Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15.Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18.Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20.Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	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	2½	4½	TB	TB	22	22	22

Tabel 9-Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>h,j</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempayang ditetapkan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus <sup>f</sup>	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI <sup>h,k</sup>
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30



Tabel 9-Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa (lanjutan)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan betonkomposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
<b>F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa</b>	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
<b>G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :</b>								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	TI <sup>h,i</sup>	TI <sup>h,i</sup>
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
<b>H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever</b>	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

**CATATAN**  $R$  mereduksi gaya sampai tingkat kekuatan, bukan tingkat tegangan ijin. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Faktor modifikasi respons,  $R$ , untuk penggunaan pada keseluruhan tata cara.

<sup>b</sup> Faktor pembesaran defleksi,  $C_d$ , untuk penggunaan dalam 7.8.6, 7.8.7 dan 7.9.2.

<sup>c</sup> TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan.

<sup>d</sup> Lihat 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.

<sup>e</sup> Lihat 7.2.5.4 untuk sistem penahan gaya gempa yang dibatas sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

<sup>f</sup> Rangka pemikul momen biasa diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti rangka pemikul momen menengah untuk kategori desain seismik B atau C.

<sup>g</sup> Harga tabelfaktor kuat-lebih,  $\Omega_0$ , 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.

<sup>h</sup> Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismik D atau E.

<sup>i</sup> Lihat 7.2.5.6 dan 7.2.5.7 untuk struktur yang dikenai kategori desain seismik F.

<sup>j</sup> 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/m<sup>2</sup> dan pada struktur griya tawang.



- <sup>k</sup> Penambahan ketinggian sampai 13,7 m diijinkan untuk fasilitas gudang penyimpanan satu tingkat.
- <sup>l</sup> Dinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural.
- <sup>m</sup> Definisi “Dinding Struktural Khusus”, termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.
- <sup>n</sup> Definisi “Rangka Momen Khusus”, termasuk konstruksi pra cetak dan cetak di tempat.
- <sup>o</sup> Secara berurutan, efek beban gempa dengan kuat lebih  $E_{mh}$ , diijinkan berdasarkan perkiraan kekuatan yang ditentukan sesuai dengan tata cara yang berlaku.
- <sup>p</sup> Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan harus dibatasi untuk bangunan dengan tinggi satu lantai sesuai dengan tata cara yang berlaku.

### 7.2.3 Kombinasi sistem rangka dalam arah yang sama

Jika sistem penahan gaya gempa yang berbeda digunakan dalam kombinasi untuk menahan gaya gempa dalam arah respons struktur yang sama, selain dari kombinasi-kombinasi yang dianggap sebagai sistem ganda, batasan sistem yang lebih ketat termuat dalam Tabel 9 harus dikenakan dan desainnya harus sesuai dengan persyaratan pasal ini.

#### 7.2.3.1 Nilai-nilai $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk kombinasi vertikal

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

1. Jika struktur bagian bawah memiliki koefisien modifikasi respons  $R$  yang lebih kecil, maka koefisien desain ( $R$ ,  $\Omega_0$ , dan  $C_d$ ) untuk struktur bagian atas diijinkan untuk digunakan menghitung gaya dan simpangan antar lantai. Untuk desain struktur bagian bawah koefisien ( $R$ ,  $\Omega_0$ , 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;
2. Jika struktur atas memiliki nilai faktor modifikasi respons yang lebih kecil, maka koefisien desain ( $R$ ,  $\Omega_0$ , 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 ekuivalen dua tahap diijinkan untuk digunakan untuk struktur yang mempunyai bagian atas yang fleksibel di atas bagian bawah yang kaku, asalkan desain 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 didesain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai  $R$  dan  $\rho$  yang sesuai;
- d. Bagian bawah yang kaku harus didesain sebagai struktur terpisah menggunakan nilai  $R$  dan  $\rho$  yang sesuai. Reaksi dari bagian atas harus ditentukan dari analisis bagian atas yang diperbesar dengan rasio  $R/\rho$  bagian atas terhadap  $R/\rho$  bagian bawah. Rasio ini tidak boleh kurang dari 1,0;

- e. Bagian atas dianalisis dengan gaya lateral ekuivalen atau prosedur ragam spektrum respons, dan bagian bawah dianalisis dengan prosedur gaya lateral ekuivalen.

### 7.2.3.3 Nilai-nilai $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk kombinasi horisontal

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

Faktor amplifikasi defleksi,  $C_d$ , dan faktor kuat-lebih sistem,  $\Omega_0$ , dalam arah yang ditinjau di semua tingkat tidak boleh kurang dari nilai terbesar faktor ini untuk koefisien  $R$  yang digunakan dalam arah yang sama dengan yang ditinjau.

**PENGECUALIAN** Elemen penahan diijinkan untuk didesain 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 desain 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 gaya gempa dalam semua arah harus didesain menggunakan persyaratan pendetailan pada pasal 7 yang disyaratkan untuk nilai koefisien 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 desain. 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 9 dan bagian berikut ini. Kuat aksial perlu pada elemen-elemen kolom kantilever individu, dengan meninjau hanya kombinasi beban yang mencakup pengaruh beban gempa 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 gempa, termasuk dengan faktor kuat-lebih sesuai 7.4.3.

### 7.2.5.3 Struktur tipe bandul terbalik

Tanpa memperdulikan sistem struktur yang dipilih, bandul terbalik seperti yang didefinisikan dalam pasal 3 harus sesuai dengan pasal ini. Kolom pendukung atau pier struktur tipe

bandul terbalik harus didesain terhadap momen lentur yang dihitung di dasar kolom yang ditentukan dengan menggunakan prosedur yang diberikan dalam 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 9 diijinkan untuk ditingkatkan dari 48m sampai 72m untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D atau E, dan dari 30m sampai 48m untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain 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 10 (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 desain seismik D sampai F.

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, rangka pemikul momen khusus yang digunakan tapi tidak disyaratkan oleh Tabel 9, tidak boleh dihentikan dan didukung oleh sistem yang lebih kaku dengan faktor modifikasi respons,  $R$ , yang lebih rendah, kecuali jika persyaratan 7.3.3.2 dan 7.3.3.4 dipenuhi. Jika rangka pemikul momen khusus disyaratkan oleh Tabel 9, rangka tersebut harus menerus sampai fondasi.

#### 7.2.5.6 Rangka baja pemikul momen biasa

##### 7.2.5.6.1 Kategori desain seismik D atau E

1. Struktur rangka baja satu lantai biasa yang dirancang untuk kategori desain seismik D atau E, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur  $h_n$ , 20m di mana beban mati yang ditanggung dan tributari beban atap tidak lebih besar dari  $0,96 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10m 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  $0,96 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10m 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 desain seismik D atau E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam 7.2.5.6.1 diijinkan

dalam rangka ringan sampai ketinggian  $h_n$ , 10m, 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<sup>2</sup>. Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari 0,96 kN/m<sup>2</sup>.

#### 7.2.5.6.2 Kategori Desain seismik F

Sistem rangka momen satu lantai yang dirancang untuk kategori desain seismik F diijinkan memiliki ketinggian  $h_n$ , 20m di mana beban mati yang didukung dan tributari beban atap tidak melebihi 0,96 kN/m<sup>2</sup>. Sebagai tambahan tributari beban mati dari dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari 0,96 kN/m<sup>2</sup>.

#### 7.2.5.7 Rangka baja pemikul momen menengah

##### 7.2.5.7.1 Kategori Desain seismik D

- a. Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk kategori desain seismik D, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur  $h_n$ , 20m di mana beban mati yang ditanggung dan beban tributari atap tidak lebih besar dari 0,96 kN/m<sup>2</sup>. Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10m di atas dasar tidak boleh melebihi 0,96 kN/m<sup>2</sup>;

**PENGECUALIAN** 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<sup>2</sup>. Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10m di atas dasar tidak boleh melebihi 0,96 kN/m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup> tanpa memperhatikan ketinggiannya di atas dasar struktur.

- b. Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang dirancang untuk kategori desain seismik D yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam 7.2.5.7.1.a diijinkan dalam rangka ringan sampai ketinggian  $h_n$ , 10 m.

##### 7.2.5.7.2 Kategori Desain seismik E

- a. Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk kategori desain seismik E, diijinkan untuk memiliki tinggi struktur  $h_n$ , 20m di mana beban mati yang ditanggung dan beban tributari atap tidak lebih besar dari 0,96 kN/m<sup>2</sup>. Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka penahan momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10m di atas dasar tidak boleh melebihi 0,96 kN/m<sup>2</sup>.

**PENGECUALIAN** 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<sup>2</sup>. 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 kN/m<sup>2</sup>. 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.

- b. Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang dirancang untuk kategori desain seismik E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam 7.2.5.7.2.a 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  $1,68 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka momen tidak boleh lebih besar dari  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .

### 7.2.5.7.3 Kategori Desain seismik F

- a. Struktur rangka baja satu lantai menengah yang dirancang untuk kategori desain 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  $0,96 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang tingginya lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .
- b. Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang dirancang untuk kategori desain seismik E yang tidak sesuai dengan batasan yang diuraikan dalam 7.2.5.7.3.a 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  $1,68 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati untuk dinding eksterior pada rangka pemikul momen tidak boleh lebih besar dari  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .

### 7.2.5.8 Sistem interaktif dinding geser-rangka

Rangka dari sistem interaktif dinding geser-rangka harus mampu menahan paling sedikit 25 persen geser tingkat desain 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 gempa. Kecuali jika diafragma dapat diidealisasikan baik fleksibel ataupun kaku sesuai dengan 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

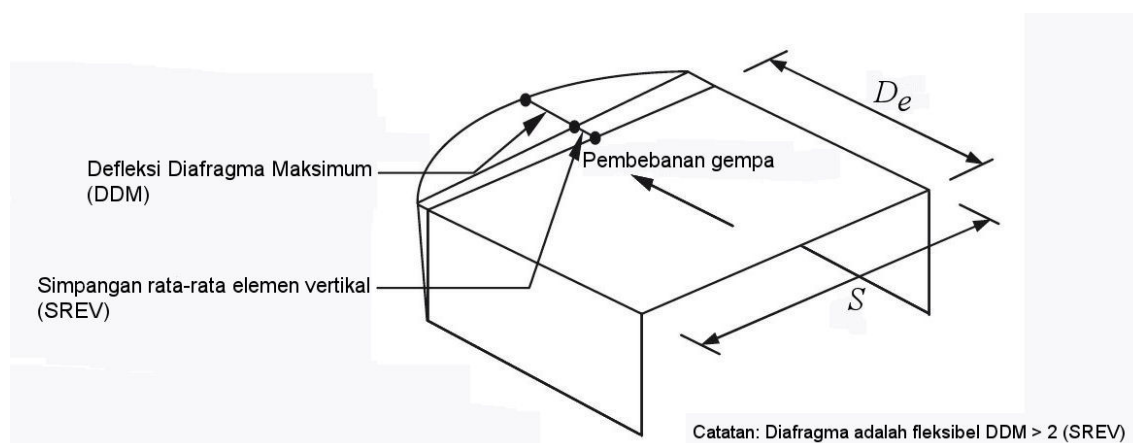
Diafragma yang terbuat dari dek baja atau panel struktur kayu tanpa diberi penutup (*topping*) beton dapat diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel jika memenuhi kondisi dibawah ini:

1. Struktur di mana 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;
2. Bangunan hunian satu atau dua lantai;
3. Stuktur rangka ringan, di mana kondisi dibawah ini terpenuhi
  - a. Penutup beton atau material yang sama tidak ditempatkan diatas panel diafragma kayu kecuali untuk penutup nonstruktural dengan tebal tidak lebih dari 38 mm;
  - b. Setiap elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa memenuhi syarat tingkat simpangan antar lantai pada Tabel 16.



### 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 3** untuk definisi  $S$  dan  $D_e$ .



**Gambar 3 - Diafragma fleksibel**

### 7.3.1.3 Kondisi diafragma fleksibel yang dihitung

Diafragma yang tidak memenuhi kondisi dalam 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 gempa yang terhubung di tingkat yang ditinjau akibat beban lateral tributari ekuivalen seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pembebanan yang digunakan untuk perhitungan ini harus sesuai dengan yang ditentukan dalam 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 10 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 10 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 11 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 11 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel itu.

**PENGECUALIAN:**

1. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 11 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar lantai akibat gaya gempa lateral desain 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 11 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismik atau bangunan dua tingkat yang dirancang untuk kategori desain 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 desain seismik D sampai F**

Struktur yang dirancang untuk kategori desain 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 desain 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 11, tidak boleh melebihi dua tingkat atau ketinggian 9 m.

**PENGECUALIAN** Batasan ini tidak berlaku jika tingkat “lemah” mampu menahan gaya gempa total yang besarnya sama dengan  $\Omega_0$  kali gaya desain yang ditetapkan dalam 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 10 atau ketidakberaturan vertikal Tipe 4 pada Tabel 11 harus direncanakan untuk menahan efek gaya gempa termasuk faktor kuat lebih berdasarkan 7.4.3. Sambungan elemen diskontinu tersebut ke elemen struktur pendukung harus cukup untuk menyalurkan gaya pada mana elemen diskontinu tersebut disyaratkan untuk didesain.

**7.3.3.4 Peningkatan gaya akibat ketidakberaturan untuk kategori desain seismik D hingga F**

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 pada Tabel 10 atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada Tabel 11, gaya desain yang ditentukan berdasarkan 7.10.1.1 harus ditingkatkan 25 persen untuk elemen-elemen sistem penahan gaya gempa 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 gempa.

**PENGECUALIAN** Gaya yang dihitung menggunakan efek gaya gempa, termasuk faktor kuat lebih sesuai 7.4.3, tidak perlu diperbesar.



Tabel 10- Ketidakberaturan horisontal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakberaturan torsi</b> 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 diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 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.	<b>Ketidakberaturan torsi berlebihan</b> 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 diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	<b>Ketidakberaturan sudut dalam</b> 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 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F
3.	<b>Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma</b> 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 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F
4.	<b>Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang</b> 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 Tabel13 12.2.2	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	<b>Ketidakberaturan sistem nonparalel</b> didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel13 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 11 - Ketidakberaturan vertikal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak</b> 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.	Tabel13	D, E, dan F
1b.	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan</b> 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 Tabel13	E dan F D, E, dan F
2.	<b>Ketidakberaturan Berat (Massa)</b> 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.	Tabel13	D, E, dan F
3.	<b>Ketidakberaturan Geometri Vertikal</b> didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel13	D, E, dan F
4.	<b>Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal</b> 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 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat</b> 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 Tabel13	E dan F D, E, dan F
5b.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan</b> 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 Tabel13	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

### 7.3.4 Redundansi

Faktor redundansi,  $\rho$ , harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan pasal ini.

#### 7.3.4.1 Kondisi di mana nilai $\rho$ adalah 1,0

Nilai  $\rho$  diijinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
3. Desain komponen nonstruktural;
4. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan 7.4.3 digunakan;
6. Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan 7.4.3 disyaratkan untuk desain;

7. Beban diafragma ditentukan menggunakan Persamaan 37;
8. Struktur dengan sistem peredaman;
9. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

**Tabel 12-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, $\rho$ , untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0:

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 12;
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa 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,  $h_{sx}$ , untuk konstruksi rangka ringan.

### 7.4 Kombinasi dan pengaruh beban gempa

#### 7.4.1 Lingkup penerapan

Semua elemen struktur, termasuk yang bukan bagian sistem penahan gaya gempa, harus didesain menggunakan pengaruh beban gempa dari dalam 7.4 kecuali jika sebaliknya 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 7.4.2. Jika disyaratkan secara spesifik, pengaruh beban

gempa harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat-lebih sistem, seperti ditetapkan selanjutnya dalam 7.4.3.

**7.4.2 Pengaruh beban gempa**

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

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 4.2.3,  $E$  harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 14 berikut:

$$E = E_h + E_v \tag{14}$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 8 dalam 4.2.3,  $E$  harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 15 berikut:

$$E = E_h - E_v \tag{15}$$

Keterangan:

$E$  = pengaruh beban gempa;

$E_h$  = pengaruh beban gempa horisontal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.1;

$E_v$  = pengaruh beban gempa vertikal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.2.

**7.4.2.1 Pengaruh beban gempa horisontal**

Pengaruh beban gempa horisontal,  $E_h$ , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 16 sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q_E \tag{16}$$

Keterangan:

$Q_E$  adalah pengaruh gaya gempa horisontal dari  $V$  atau  $F_p$ . Jika disyaratkan dalam 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;

$\rho$  adalah faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam 7.3.4.

**7.4.2.2 Pengaruh beban gempa vertikal**

Pengaruh beban gempa vertikal,  $E_v$ , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 17 berikut:

$$E_v = 0,2S_{DS}D \tag{17}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek yang diperoleh dari 6.10.4

$D$  = pengaruh beban mati.

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

1. Dalam Persamaan 14, 15, 18, dan 19 di mana  $S_{DS}$  adalah sama dengan atau kurang dari 0,125;
2. Dalam Persamaan 15 jika menentukan kebutuhan pada muka-kontak tanah-struktur di fondasi.

### 7.4.2.3 Kombinasi beban gempa.

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

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan (lihat 4.2.2 dan 3.67 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  $5 \text{ kN/m}^2$ , 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 desain.

Kombinasi Dasar untuk Desain Tegangan Ijin (lihat 4.2.3 dan 3.67 untuk notasi).

5.  $(1,0 + 0,14S_{DS})D + H + F + 0,7\rho Q_E$
6.  $(1,0 + 0,10S_{DS})D + H + F + 0,525\rho Q_E + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
8.  $(0,6 - 0,14S_{DS})D + 0,7\rho Q_E + H$

### 7.4.3 Pengaruh beban gempa 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 4.2.2 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 4.2.3,  $E$  harus diambil sama dengan  $E_m$  seperti ditentukan sesuai dengan Persamaan 18 sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} + E_v \quad (18)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 8 dalam 4.2.3,  $E$  harus diambil sama dengan  $E_m$  seperti ditentukan sesuai dengan Persamaan 19 sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} - E_v \quad (19)$$

Keterangan:

$E_m$  = pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih

$E_{mh}$  = pengaruh beban gempa horisontal termasuk kuat-lebih struktur seperti didefinisikan dalam 7.4.3.1

$E_v$  = pengaruh beban gempa vertikal seperti didefinisikan dalam 7.4.2.2

### 7.4.3.1 Pengaruh beban gempa horisontal dengan faktor kuat-lebih

Pengaruh beban gempa horisontal dengan faktor kuat-lebih,  $E_{mh}$ , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 20 sebagai berikut:

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E \quad (20)$$

Keterangan:

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

$\Omega_0$  = 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 gempa dengan kuat-lebih,  $E_m$ , yang didefinisikan dalam 7.4.3 dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam 4.2, kombinasi beban gempa berikut untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban gempa dalam 4.2.2 atau 4.2.3.

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan dengan faktor kuat-lebih (lihat 4.2.2 dan 3.67 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<sup>2</sup>, 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 desain.

Kombinasi dasar untuk desain tegangan ijin dengan faktor kuat-lebih (lihat 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 kuat-lebih

Jika metodologi desain tegangan ijin digunakan dengan pengaruh beban gempa didefinisikan dalam 7.4.3 diterapkan dalam kombinasi beban 5, 6, atau 8 dari 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 tata cara ini.

#### **7.4.4 Gaya ke atas minimum untuk kantilever horisontal untuk kategori desain seismik D sampai F.**

Dalam struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, elemen struktur kantilever horisontal harus didesain untuk gaya ke atas bersih minimum sebesar 0,2 kali beban mati sebagai tambahan untuk kombinasi beban yang sesuai dari 7.4.

### **7.5 Arah pembebanan**

#### **7.5.1 Arah kriteria pembebanan**

Arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam desain harus merupakan arah yang akan menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Arah penerapan gaya gempa diijinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan prosedur 7.5.2 untuk kategori desain seismik B, 7.5.3 untuk kategori desain seismik C, dan 7.5.4 untuk kategori desain seismik D, E, dan F.

#### **7.5.2 Kategori desain seismik B**

Untuk struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik B, gaya gempa desain diijinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah ortogonal dan pengaruh interaksi ortogonal diijinkan untuk diabaikan.

#### **7.5.3 Kategori desain seismik C**

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik C harus, minimum, sesuai dengan persyaratan dalam 7.5.2, untuk kategori desain seismik B dan persyaratan pasal ini. Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal Tipe 5 dalam Tabel 10 harus menggunakan salah satu dari prosedur berikut:

- a. **Prosedur kombinasi ortogonal.** Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen dalam 7.8, prosedur analisis spektrum respons ragam dalam 7.9, atau prosedur riwayat respons linier dalam 11.1, seperti diijinkan dalam 7.6, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah ortogonal. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain 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 dalam 11.1 atau prosedur riwayat respons nonlinier dalam 11.2, seperti diijinkan dalam 7.6, dengan pasangan ortogonal riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

#### **7.5.4 Kategori desain seismik D sampai F**

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F harus, minimum, sesuai dengan persyaratan 7.5.3. Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang membentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang berpotongan dan dikenai



beban aksial akibat gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 persen kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa dalam semua arah. Baik prosedur 7.5.3a atau 7.5.3b, diijinkan untuk digunakan untuk memenuhi persyaratan ini. Kecuali seperti disyaratkan dalam 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 13, berdasarkan pada kategori desain 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 13.

## 7.7 Kriteria pemodelan

### 7.7.1 Pemodelan fondasi

Untuk tujuan penentuan beban gempa, pemodelan fondasi diijinkan dengan menganggap struktur terjepit di dasarnya. Sebagai alternatif, jika fleksibilitas fondasi diperhitungkan, pemodelan fondasi harus sesuai dengan 7.13.3 atau pasal 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 desain 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 13 Prosedur analisis yang boleh digunakan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respons seismik Pasal 11
B, C	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
	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 10 atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN: 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 10 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 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-D 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 gempa harus didesain agar aksi atau kegagalan elemen tersebut tidak akan memperparah beban vertikal dan kemampuan rangka penahan gaya gempa. Desainnya harus memperhitungkan pengaruh elemen kaku ini pada sistem struktur pada deformasi struktur yang terkait dengan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan dalam 7.8.6. Sebagai tambahan, pengaruh elemen ini harus diperhitungkan bila menentukan apakah suatu struktur mempunyai satu atau lebih ketidakteraturan yang didefinisikan dalam 7.3.2.

**7.8 Prosedur gaya lateral ekivalen**

**7.8.1 Geser dasar seismik**

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

$$V = C_s W \tag{21}$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 7.8.1.1;

$W$  = berat seismik efektif menurut 7.7.2.

**7.8.1.1 Perhitungan koefisien respons seismik**

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 22.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{22}$$

**Keterangan:**

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek seperti ditentukan dalam 6.3 atau 6.9

$R$  = faktor modifikasi respons dalam Tabel 9

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan Persamaan 22 tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{23}$$

$C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \tag{24}$$

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:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (25)$$

Keterangan:

di mana  $I_e$  dan  $R$  sebagaimana didefinisikan dalam 7.8.1.1, dan

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 6.10.4

$T$  = perioda fundamental struktur (detik) yang ditentukan 7.8.2

$S_1$  = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 6.10.4

### 7.8.1.2 Reduksi interaksi tanah struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diijinkan bila ditentukan menggunakan pasal 13 atau prosedur yang diterima secara umum lainnya yang disetujui oleh otoritas yang berwenang.

### 7.8.1.3 Nilai maksimum $S_s$ 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 Penentuan perioda

Perioda fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 14 dan perioda fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan 7.8.2.1. Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur,  $T$ , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan,  $T_a$ , yang dihitung sesuai dengan 7.8.2.1.

### 7.8.2.1 Perioda fundamental pendekatan.

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (26)$$

Keterangan:

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 15.

Tabel 14 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 15 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

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 gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N \tag{27}$$

Keterangan:

$N$  =jumlah tingkat

Perioda fundamental pendekatan,  $T_a$ , dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari Persamaan 28 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \tag{28}$$

dimana  $h_n$  didefinisikan dalam teks terdahulu dan  $C_w$  dihitung dari Persamaan 29 sebagai berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left( \frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (29)$$

Keterangan:

$A_B$  = luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )

$A_i$  = luas badan dinding geser "i", dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )

$D_i$  = panjang dinding geser "i" dinyatakan dalam meter (m)

$h_i$  = tinggi dinding geser "i" dinyatakan dalam meter (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 :

$$F_x = C_{vx} V \quad (30)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (31)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter (m)

$k$  = 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 horisontal gaya gempa

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (32)$$

Keterangan:

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul di Tingkat  $i$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa ( $V_x$ ) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa 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, desain 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 desain seismik C, D, E, atau F, di mana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 10 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) seperti digambarkan dalam Gambar 4 dan ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left( \frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad (33)$$

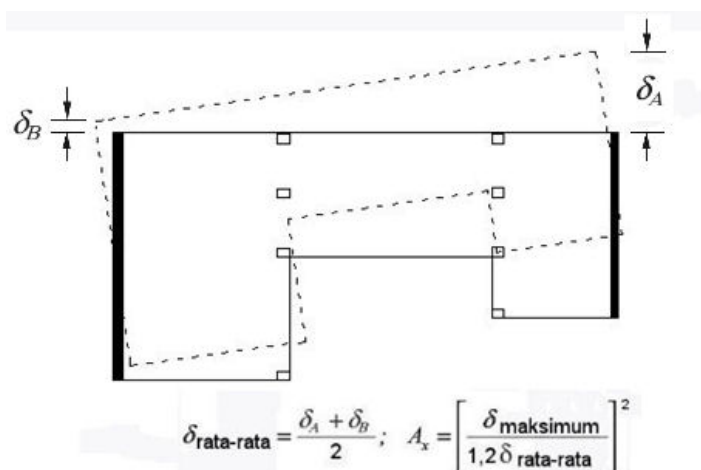
Keterangan :

$\delta_{\max}$  adalah perpindahan maksimum di tingkat  $x$  (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (mm)

$\delta_{\text{avg}}$  adalah rata-rata perpindahan di titik-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 desain.





Gambar 4 - Faktor pembesaran torsi,  $A_x$

### 7.8.5 Guling

Struktur harus didesain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan oleh gaya gempa yang ditentukan dalam 7.8.3.

### 7.8.6 Penentuan simpangan antar lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Lihat Gambar 5. 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 desain tegangan ijin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan dalam 7.8 tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 10, simpangan antar lantai desain,  $\Delta$ , 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  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (34)$$

Keterangan:

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi dalam Tabel 9

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

**7.8.6.1 Geser dasar minimum untuk menghitung simpangan antar lantai**

Analisis elastik sistem penahan gaya gempa untuk perhitungan simpangan antar lantai harus dilakukan dengan menggunakan gaya gempadesain sesuai 7.8.

**PENGECEUALIAN** Persamaan 24 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 dalam 7.12.1, diijinkan untuk menentukan simpangan antar lantai elastis, ( $\delta_{xe}$ ), menggunakan gaya desain seismik berdasarkan pada perioda fundamental struktur yang dihitung tanpa batasan atas ( $C_u T_a$ ) yang ditetapkan dalam 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 ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \tag{35}$$

Keterangan:

- $P_x$  = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat  $x$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN); bila menghitung  $P_x$ , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;
- $\Delta$  adalah simpangan antar lantai tingkat desain seperti didefinisikan dalam 7.8.6, terjadi secara serentak dengan  $V_x$ , dinyatakan dalam milimeter (mm)
- $I_e$  =faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2
- $V_x$  =gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat  $x$  dan  $x-1$  (kN)
- $h_{sx}$  = tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ , dinyatakan dalam milimeter (mm);
- $C_d$  =faktor pembesaran defleksi dalam Tabel9.

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi  $\theta_{max}$  yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \tag{36}$$

dimana  $\beta$  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 ( $\theta$ ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan  $\theta_{max}$ , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan  $1,0/(1-\theta)$ .

Jika  $\theta$  lebih besar dari  $\theta_{max}$ , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, Persamaan 36 masih harus dipenuhi, akan tetapi, nilai  $\theta$  yang dihitung dari Persamaan 35 menggunakan hasil analisis P-delta diijinkan dibagi dengan  $(1 + \theta)$  sebelum diperiksa dengan Persamaan 36.

## 7.9 Analisis spektrum respons ragam

### 7.9.1 Jumlah ragam

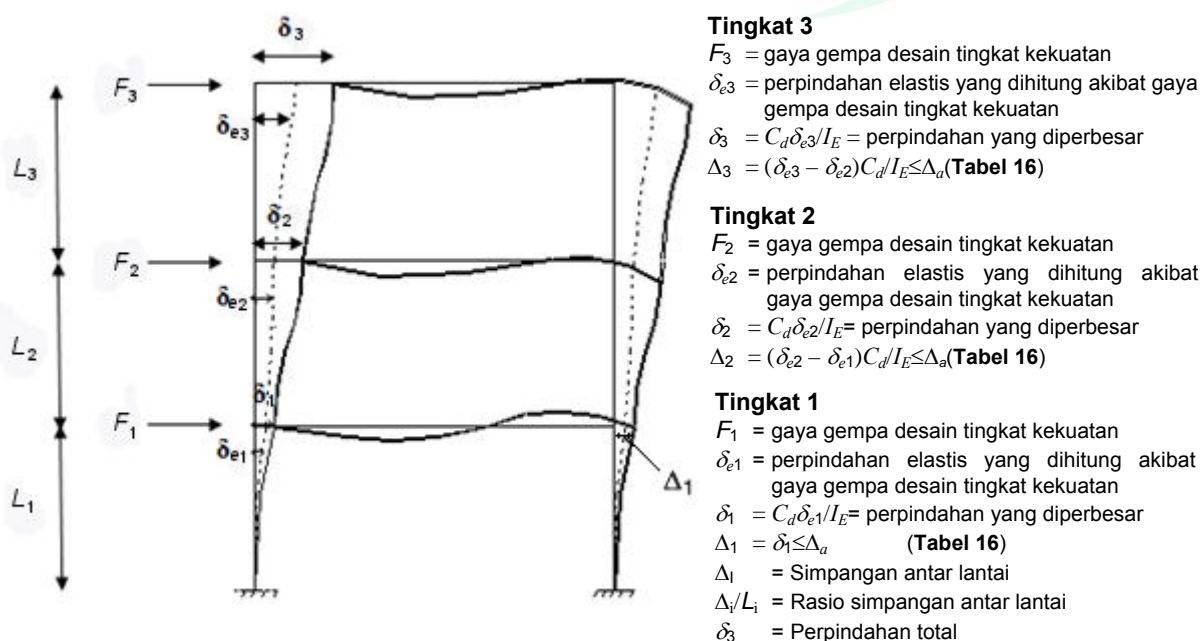
Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau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

### 7.9.2 Parameter respons ragam

Nilai untuk masing-masing parameter desain 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 6.4 atau 6.10.2 dibagi dengan kuantitas  $(R/I_e)$ . Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas  $(C_d/I_e)$ .

### 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.



Gambar 5 - Penentuan simpangan antar lantai

### 7.9.4 Skalanilai desain 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 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  $0,85 \frac{V}{V_t}$ .

Keterangan:

$V$  =geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen, yang dihitung sesuai dengan pasal ini dan 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 25, simpangan antar lantai harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{C_s W}{V_t}$ .

#### 7.9.5 Distribusi geser horisontal

Distribusi geser horisontal harus sesuai dengan persyaratan 7.8.4, kecuali bahwa pembesaran torsi menurut 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 7.8.7. Geser dasar yang digunakan untuk menentukan geser tingkat dan simpangan antar lantai tingkat harus ditentukan sesuai dengan 7.8.6.

#### 7.9.7 Reduksi interaksi tanah struktur

Reduksi interaksi tanah struktur diijinkan bila ditentukan menggunakan pasal 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 Desain diafragma

Diafragma harus didesain untuk kedua tegangan geser dan lentur yang dihasilkan dari gaya desain. Pada diskontinuitas diafragma, seperti bukaan dan sudut dalam, desain 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 Gaya desain diafragma

Diafragma lantai dan atap harus didesain untuk menahan gaya gempa desain dari analisis struktur, tetapi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sesuai dengan Persamaan 37 sebagai berikut:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (37)$$

Keterangan:

$F_{px}$  = gaya desain diafragma;

$F_i$  = gaya desain 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 37 tidak boleh kurang dari:

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} I_e W_{px} \quad (37)$$

dan tidak boleh melebihi:

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} I_e W_{px} \quad (38)$$

Jika diafragma disyaratkan untuk menyalurkan gaya gempa desain 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 36. Faktor redundansi,  $\rho$ , berlaku pada desain diafragma pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F. Untuk gaya inersia yang dihitung sesuai dengan Persamaan 36, faktor redundansi harus sama dengan 1,0. Untuk gaya transfer, faktor redundansi,  $\rho$ , harus sama seperti yang digunakan untuk struktur. Untuk struktur yang mempunyai tipe ketidakaturan struktur horisontal atau vertikal yang ditunjukkan dalam 7.3.3.4, persyaratan penampang tersebut juga harus berlaku.

### 7.10.2 Elemen kolektor

Elemen kolektor harus disediakan yang mampu menyalurkan gaya gempa 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 desain seismik C hingga F

Pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, elemen-elemen kolektor (lihat Gambar 6) dan sambungan-sambungannya, termasuk sambungan-

sambungan ke komponen vertikal harus didesain untuk menahan nilai maksimum diantara nilai-nilai berikut:

1. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat lebih dalam 7.4.3 dengan gaya-gaya gempa ditetapkan berdasarkan prosedur gaya lateral ekuivalen dalam 7.8 atau prosedur analisis spektrum respons ragam dalam 7.9;
2. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat lebih dalam 7.4.3 dengan gaya-gaya gempa ditetapkan berdasarkan Persamaan 37;
3. Gaya-gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban dalam 7.4.2.3, dengan gaya gempa ditetapkan oleh Persamaan 38.

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

#### PENGECUALIAN:

1. Gaya-gaya yang dihitung di atas tidak perlu melebihi gaya-gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban dalam 7.4.2.3, dengan gaya gempa ditetapkan berdasarkan Persamaan 39.
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 didesain untuk menahan kombinasi beban sesuai 7.4.2.3, dengan gaya-gaya gempa ditetapkan berdasarkan 7.10.1.1.



Gambar 6 - Kolektor

## 7.11 Dinding struktural dan pengangkurannya

### 7.11.1 Desain untuk gaya melintang bidang

Dinding struktural dan pengangkurannya harus didesain untuk gaya tegak lurus terhadap permukaan sebesar  $F_p = 0.4S_{DS}I_e$  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 gempa.

### 7.11.2 Pengangkurannya dinding struktural dan penyaluran gaya desain pada diafragma

#### 7.11.2.1 Gaya pengangkurannya dinding

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



$$F_p = 0,4 S_{DS} k_a I_e W_p \quad (40)$$

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

$$k_a = 1,0 + \frac{L_f}{30} \quad (41)$$

$k_a$  tidak perlu diambil lebih besar dari 2,0.

Keterangan:

$F_p$  = gaya desain pada angkur-angkur individu

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektral desain pada perioda pendek menurut 6.3

$I_e$  = faktor keutamaan gempa menurut 4.1.2;

$k_a$  = faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma;

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

$W_p$  = berat dinding sesuai luasan tributari angkur.

Bila angkur tidak terletak di atap dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari Persamaan 40 diijinkan untuk dikalikan dengan faktor  $\frac{(1+2z/h)}{3}$ , dimana  $z$  adalah tinggi angkur di atas dasar struktur dan  $h$  adalah tinggi atap di atas dasar.

Dinding struktural harus didesain 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 desain seismik C sampai F

#### 7.11.2.2.1 Penyaluran gaya pengankuran ke dalam diafragma

Diafragma harus disediakan dengan pengikat atau strut menerus antara kord diafragma untuk mendistribusikan gaya pengankuran ini dalam diafragma. Sambungan diafragma harus positif, mekanis, atau dilas. Kord tambahan diijinkan untuk digunakan untuk membentuk subdiafragma untuk mentransmisikan gaya pengankuran ke pengikat silang menerus utama. Rasio panjang-terhadap-lebar maksimum subdiafragma struktur harus sebesar 2,5 sampai 1. Sambungan dan pengankuran 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 pengankuran dinding struktur

Gaya desain kekuatan untuk elemen baja dari sistem pengankuran 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 *strut* 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 didesain 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 tingkat dan deformasi

### 7.12.1 Batasan simpangan antar lantai tingkat

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan dalam 7.8.6, 7.9.2, atau 12.1, tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 16 untuk semua tingkat.

**Tabel 16 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 didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

<sup>a</sup>  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ .

<sup>b</sup> Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1.

<sup>c</sup> Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 7.12.3 tidak diabaikan.

<sup>d</sup> Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain 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 desain seismik D sampai F

Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi  $\Delta_a / \rho$  untuk semua tingkat.  $\rho$  harus ditentukan sesuai dengan 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

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

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

$$\delta_M = \frac{C_d \cdot \delta_{\max}}{I_e} \quad (42)$$

#### Keterangan:

$\delta_{\max}$  adalah perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.

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

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (43)$$

#### Keterangan:

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

Struktur bangunan harus diposisikan berjarak paling tidak sejauh  $\delta_M$  dari garis batas kepemilikan tanah.

**PENGECUALIAN** 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 membentangi antarstruktur

Sambungan gravitasi atau tumpuan untuk komponen-komponen yang membentangi antara struktur-struktur bangunan atau antara bagian-bagian struktur yang dipisah secara seismik harus di desain 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 34 yang dikalikan dengan  $1,5R/C_d$ , dan
2. Meninjau defleksi tambahan akibat rotasi diafragma, termasuk faktor pembesaran torsi yang dihitung berdasarkan 7.8.4.3, bila struktur memiliki ketidakberaturan torsi, dan;
3. Mempertimbangkan deformasi diafragma, dan;
4. Mengasumsikan kedua struktur bangunan bergerak ke arah-arah yang saling berlawanan dan defleksi yang dihasilkan masing-masing struktur bangunan kemudian dijumlahkan secara absolut.

#### 7.12.5 Kompatibilitas deformasi untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, setiap elemen struktur yang tidak termasuk dalam sistem penahan gaya gempa dalam arah yang ditinjau harus didesain agar cukup untuk memikul pengaruh beban gravitasi dan gaya gempa yang dihasilkan dari perpindahan terhadap simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti yang ditentukan sesuai dengan 7.8.6 (lihat juga 7.12.1).

**PENGECUALIAN** Elemen struktur rangka beton bertulang yang tidak didesain sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa harus sesuai dengan SNI 2847 yang berlaku (ACI 318-08).

Jika menentukan momen dan geser yang timbul pada komponen yang tidak termasuk dalam sistem penahan gaya gempa 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 Desain fondasi

#### 7.13.1 Dasar Desain

Dasar desain untuk fondasi harus seperti yang ditentukan dalam 7.1.5.

#### 7.13.2 Material konstruksi

Material yang digunakan untuk desain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan persyaratan 7.14. Desain dan pendetailan tiang baja harus sesuai dengan 7.14.1. Desain dan pendetailan tiang beton harus sesuai 7.14.2.

#### 7.13.3 Karakteristik beban-deformasi fondasi

Jika fleksibilitas fondasi disertakan untuk prosedur analisis linier dalam pasal 7 dan pasal 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 desain. Modulus geser yang kompatibel regangannya,  $G$ , dan kecepatan gelombang geser terkait yang kompatibel regangannya,  $v_s$ , yang diperlukan untuk evaluasi kekakuan linier ekuivalen harus ditentukan menggunakan kriteria dalam 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 desain.

#### 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 didesain sesuai dengan analisis gaya lateral ekuivalen seperti ditentukan selanjutnya dalam 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 didesain sesuai dengan persyaratan analisis ragam dari 7.9.

#### 7.13.5 Persyaratan untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C

Sebagai tambahan pada persyaratan dari pasal 6 persyaratan desain fondasi berikut harus diterapkan pada struktur yang dirancang untuk kategori desain 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 tiang untuk menahan gaya gempa harus ditentukan melalui kriteria desain yang disusun dalam laporan investigasi fondasi.

##### 7.13.5.2 Pengikat fondasi

Pur (*pile-cap*) tiang individu, pier bor, atau kaison harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan desain 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 dalam 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.

**PENGECUALIAN** 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 desain seismik D sampai F

Sebagai tambahan pada persyaratan 6.7.2, 6.7.3, 7.14.1, dan 7.14.2, persyaratan desain fondasi berikut harus diterapkan pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F. Desain dan konstruksi komponen fondasi beton harus memenuhi persyaratan SNI 2847 yang berlaku (ACI 318-08), kecuali seperti dimodifikasi oleh persyaratan pasal ini.

**PENGECUALIAN** 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 6.7.2, 6.7.3 (Butir 2 sampai 4), 7.13.2 dan 7.13.5.

#### 7.13.6.1 Struktur tipe tiang

Jika konstruksi menggunakan tiang sebagai kolom yang dibenamkan dalam tanah atau dibenamkan dalam fondasi telapak beton dalam tanah digunakan untuk menahan beban lateral, kedalaman pembedaman yang disyaratkan untuk tiang untuk menahan gaya gempa harus ditentukan melalui kriteria desain 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 pasal 5 sebagai kelas situs *SE* atau *SF* harus dihubungkan satu sama lain dengan pengikat. Semua pengikat harus mempunyai kuat tarik atau tekan desain 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 desain tiang

Tiang harus didesain 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 gempa 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 7.4.3.2 atau 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 7.13.5.3, pengangkuran tiang harus sesuai dengan pasal ini. Desain 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, pengangkutan ke dalam pur (*pile-cap*) tiang harus memenuhi hal berikut ini:

1. Dalam kasus gaya ke atas, pengangkutan 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 7.4.3 atau 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, pengangkutan harus didesain untuk menahan gaya aksial dan geser dan momen yang dihasilkan dari pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih dari 7.4.3 atau 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 didesain untuk menahan gaya-gaya aksial dan geser serta momen lentur dari pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat-lebih berdasarkan 7.4.3 atau 8.3.2.

#### 7.13.6.7 Interaksi tiang-tanah

Momen, geser dan defleksi lateral tiang yang digunakan untuk desain 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 desain seismik D sampai F

Sebagai tambahan pada persyaratan fondasi yang ditetapkan di awal dalam 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 desain 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 7.4.3.2 atau 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 desain.

## 7.14.2 Persyaratan pendetailan tambahan untuk tiang beton

### 7.14.2.1 Persyaratan tiang beton untuk kategori desain seismik C

Tiang beton pada struktur yang dirancang untuk kategori desain 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 7.14.2.2 tata cara 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.

Senggang 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 desain 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 desain seismik C)

Persyaratan tulangan adalah sama seperti untuk tiang beton tanpa pembungkus.

**PENGECUALIAN** Pembungkus logam yang dilas spiral dengan ketebalan tidak kurang dari diameter No. 14 dapat dipertimbangkan sebagai tersedianya pengekangan beton ekuivalen dengan pengikat tertutup atau spiral ekuivalen 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 desain 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 desain 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 desain 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:

$$\rho_s = \frac{0,12 f'_c}{f_{yh}} \quad (44)$$

**Keterangan:**

$\rho_s$  = rasio volumetrik (vol. spiral/vol. inti);

$f'_c$  = kuat tekan beton yang ditetapkan, dinyatakan dalam mega pascal(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 44 harus disediakan untuk panjang sisa tiang.

#### 7.14.2.2 Persyaratan tiang beton untuk kategori desain seismik D sampai F

Tiang beton pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F harus memenuhi persyaratan pasal ini.

##### 7.14.2.2.1 Kelas situs *SE* atau *SF*

Bila tiang beton digunakan dalam kelas situs *SE* atau *SF*, tiang tersebut harus mempunyai tulangan transversal sesuai dengan tata cara yang berlaku dalam tujuh kali diameter tiang dari penutup tiang dan dari permukaan kontak antara lapisan yang keras atau teguh dan lapisan yang berpotensi likuifaksi atau berupa lapisan lempung lunak atau lempung setengah teguh.

#### 7.14.2.2 Tulangan untuk tiang beton tanpa pembungkus (kategori desain 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 tata cara 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 teguh, lunak sampai setengah teguh 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 tata cara 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:

1. 12 diameter batang tulangan longitudinal.
2. Setengah diameter tiang.
3. 300 mm.

#### 7.14.2.3 Tulangan untuk tiang beton dengan pembungkus logam (kategori desain seismik D sampai F).

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

**PENGECUALIAN** 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.

#### 7.14.2.4 Tulangan untuk tiang beton pracetak (kategori desain seismik D sampai F)

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

**PENGECUALIAN** Selain dari 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 desain seismik D sampai F)

Sebagai tambahan pada persyaratan untuk kategori desain seismik C, persyaratan berikut harus dipenuhi:

1. 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;
2. 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;
3. Tulangan spiral harus disambung dengan melewati satu belokan penuh, dengan pengelasan, atau dengan menggunakan sambungan mekanik. Bila tulangan spiral disambunglewatkan, ujung spiral harus dihentikan dengan kait gempap sesuai dengan tata cara yang berlaku, kecuali bahwa bengkokannya harus tidak kurang dari 135°. Sambungan las dan sambungan mekanik harus memenuhi tata cara yang berlaku;
4. Bila tulangan transversal terdiri dari spiral atau sengkang bulat, rasio volumetrik tulangan transversal spiral dalam daerah tiang yang daktail harus memenuhi:

$$\rho_s = 0,25 \left( \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1,0 \right) \left[ 0,5 + \frac{1,4P}{f'_c A_g} \right] \quad (45)$$

tetapi tidak kurang dari

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[ 0,5 + \frac{1,4P}{f'_c A_g} \right] \quad (46)$$

Dan  $\rho_s$  tidak boleh melebihi 0,021

Keterangan:

$\rho_s$  = rasio volumetrik (vol. spiral/vol. inti)  $f'_c \leq 41,4$  MPa

$f_{yh}$  = kuat leleh tulangan spiral  $\leq 586$  MPa;

$A_g$  = luas penampang tiang, dinyatakan dalam milimeter persegi (mm<sup>2</sup>);

$A_{ch}$  = luas inti yang didefinisikan oleh diameter sisi luar spiral, dinyatakan dalam milimeter persegi (mm<sup>2</sup>);

$P$  = beban aksial pada tiang yang dihasilkan dari kombinasi beban  $1,2D + 0,5L + 1,0E$ , kN.

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

5. 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:

$$A_{sh} = 0,3sh_c \left( \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1,0 \right) \left[ 0,5 + \frac{1,4P}{f'_c A_g} \right] \quad (47)$$

tetapi tidak kurang dari

$$A_{sh} = 0,12sh_c \left( \frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[ 0,5 + \frac{1,4P}{f'_c A_g} \right] \quad (48)$$

Keterangan:

$s$  =spasi tulangan transversal diukur sepanjang panjang tiang, dinyatakan dalam milimeter (mm)

$h_c$  =dimensi penampang inti tiang diukur pusat ke pusat tulangan sengkang, dinyatakan dalam milimeter (mm)

$f_{yh} \leq 483$ MPa.

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

6. 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 desain struktur yang disederhanakan untuk dinding penumpu atau sistem rangka bangunan sederhana

### 8.1 Umum

#### 8.1.1 Prosedur desain penyederhanaan

Prosedur ini boleh digunakan sebagai pengganti dari prosedur analisis dalam pasal 7 untuk analisis dan desain bangunan sederhana dengan sistem dinding penumpu atau rangka bangunan, yang memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam peraturan ini. Jika prosedur ini digunakan, kategori desain seismik harus ditentukan dari Tabel 6 menggunakan nilai  $S_{DS}$  dari 8.8.1.

Prosedur desain penyederhanaan boleh digunakan jika ketentuan berikut dipenuhi:

1. Struktur harus memenuhi syarat untuk Kategori Risiko I atau II sesuai dengan Tabel 1;
2. Kelas situs, yang didefinisikan dalam pasal 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 17;
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:

$$a \leq d/5 \quad (49)$$

Keterangan:

$a$  =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:

$$\sum_{i=1}^m k_{1i} d_{1i}^2 + \sum_{j=1}^n k_{2j} d_{2j}^2 \geq 2,5 \left( 0,05 + \frac{e_1}{b_1} \right) b_1^2 \sum_{i=1}^m k_{1i} \quad (50)$$

$$\sum_{i=1}^m k_{1i} d_{1i}^2 + \sum_{j=1}^n k_{2j} d_{2j}^2 \geq 2,5 \left( 0,05 + \frac{e_2}{b_2} \right) b_2^2 \sum_{j=1}^n k_{1j} \quad (51)$$

Keterangan(lihat Gambar 7):

$k_{1i}$  =kekakuan beban lateral dinding "i" atau rangka dibreis "i" paralel pada sumbu utama 1;

$k_{2j}$  =kekakuan beban lateral dinding "j" atau rangka dibreis "j" paralel pada sumbu utama 2;

$d_{1i}$  =jarak dari dinding "i" atau rangka dibreis "i" ke pusat kekakuan, tegak lurus pada sumbu utama 1;

$d_{2j}$  =jarak dari dinding "j" atau rangka dibreis "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 dibreis yang menahan gaya lateral dalam arah 1;

$n$  =jumlah dinding dan rangka dibreis yang menahan gaya lateral dalam arah 2;

Persamaan 50 dan 51 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 desain 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 didesain 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 17 Koefisien desain dan faktor untuk sistem penahan gaya gempa untuk prosedur desain penyederhanaan**

Sistem penahan gaya gempa	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Batasan <sup>b</sup>		
		Kategori desainseismik		
		B	C	D, E
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>				
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	I	I	I
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	I	I	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	I	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	I	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	I	I	12 <sup>c</sup>
6. Dinding geser pracetak biasa	3	I	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	I	I	I
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	I	I	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	I	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	I	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	I	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	I	TI	TI
13. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser	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	6½	I	I	I
15. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	I	I	TId
16. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	I	I	I
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>				
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	I	I	I
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	I	I	I
3. Rangka baja dengan bresing konsentris	3¼	I	I	I
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	I	I	I
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	I	I	TI
6. Dinding geser beton polos didetail	2	I	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	I	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	I	I	12 <sup>c</sup>
9. Dinding geser pracetak biasa	4	I	TI	TI

**Tabel 17 Koefisien desain dan faktor untuk sistem penahan gaya gempa untuk prosedur desain penyederhanaan (lanjutan)**

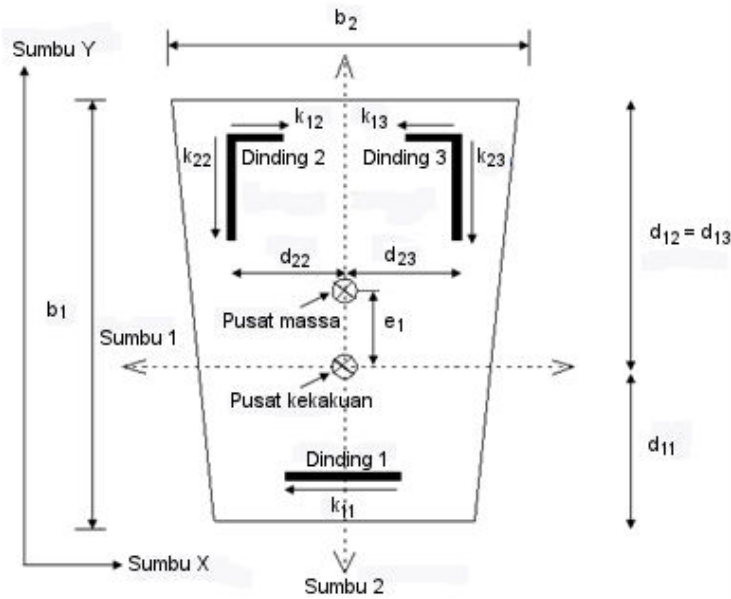
Sistem penahan gaya gempa	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Batasan <sup>b</sup>		
		Kategori desain seismik		
		B	C	D, E
10. Rangka baja dan beton komposit dengan pengaku eksentris	8	I	I	I
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	I	I	I
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	I	I	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	I	I	I
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	I	I	I
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	I	I	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	I	I	I
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	I	I	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	I	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	I	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	I	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	I	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser atau lembaran baja	7	I	I	I
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser atau lembaran baja	7	I	I	I
24. Dinding rangka ringandengan panel geser dari semua material lainnya	2½	I	I	TI <sup>d</sup>
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	I	I	I
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	I	I	I

<sup>a</sup> Koefisien modifikasi respons,  $R$ , untuk penggunaan di seluruh isi tata cara ini

<sup>b</sup> I = diijinkan; TI = tidak diijinkan.

<sup>c</sup> Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya tidak diijinkan dalam Kategori Desain Seismik E.

<sup>d</sup> Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya diijinkan sampai dengan ketinggian 10 m dalam Kategori Desain Seismik D dan tidak diijinkan dalam Kategori Desain Seismik E.



Gambar 7 - Notasi yang digunakan dalam pengecekan torsi untuk diafragma nonfleksibel

8.2 Dasar Desain

Struktur harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal lengkap dengan kekuatan yang cukup untuk menahan gaya gempa desain yang ditetapkan dalam pasal ini, dalam kombinasi dengan beban lainnya. Gaya gempa desain harus didistribusikan ke berbagai elemen struktur dan sambungannya menggunakan analisis elastis linier sesuai dengan prosedur dalam 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 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 didesain 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 didesain menggunakan pengaruh beban gempa dalam 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 8.3.1. Jika secara spesifik disyaratkan, pengaruh beban gempa harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat-lebih sistem, seperti ditetapkan selanjutnya dalam 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 4.2.2 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 4.2.3,  $E$  harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 52 sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v \tag{52}$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 8 dalam 4.2.3,  $E$  harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 53 sebagai berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (53)$$

Keterangan :

$E$  = pengaruh beban gempa

$E_h$  = pengaruh gaya gempahorisontal seperti didefinisikan dalam 8.3.1.1

$E_v$  = pengaruh gaya gempavertikal seperti didefinisikan dalam 8.3.1.2;

### 8.3.1.1 Pengaruh beban gempa horisontal

Pengaruh beban gempa horisontal,  $E_h$ , harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 54 sebagai berikut:

$$E_h = Q_E \quad (54)$$

Keterangan:

$Q_E$  = pengaruh gaya gempa horisontal dari  $V$  atau  $V_p$ , seperti ditetapkan dalam 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 55 sebagai berikut:

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (55)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrumresponsdesain pada perioda pendek yang diperoleh dari 6.6.4

$D$  = pengaruh beban mati

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

1. Dalam Persamaan 52, 53, 56 dan 57 di mana  $S_{DS}$  adalah sama dengan atau kurang dari 0,125;
2. Dalam Persamaan 53 jika menentukan kebutuhan muka-kontak tanah-struktur pada fondasi.

### 8.3.1.3 Kombinasi beban seismik

Jika pengaruh beban gempa yang ditetapkan,  $E$ , yang didefinisikan dalam 8.3.1 dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya seperti ditetapkan dalam pasal 4, kombinasi beban gempa berikut harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban gempa dalam 4.2.2 atau 4.2.3 untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir: Kombinasi dasar untuk desain kekuatan (lihat 4.2.2 dan 3.67 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  $5 \text{ kN/m}^2$ , 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 menyediakan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, tekanan tersebut tidak boleh dimasukkan dalam  $H$  tetapi harus dimasukkan dalam tahanan desain.

Kombinasi dasar untuk desain tegangan ijin (lihat 4.2.2 dan 3.67 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 4.2.2 atau kombinasi beban 5 dan 6 dalam 4.2.3,  $E$  harus diambil sama dengan  $E_m$  seperti ditentukan sesuai dengan Persamaan 56 sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} + E_v \tag{56}$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 8 dalam 4.2.3,  $E$  harus diambil sama dengan  $E_m$  seperti ditentukan sesuai dengan Persamaan 57 sebagai berikut:

$$E_m = E_{mh} - E_v \tag{57}$$

Keterangan:

$E_m$  adalah pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih

$E_{mh}$  adalah pengaruh beban gempa horisontal termasuk kuat-lebih struktur seperti didefinisikan dalam 8.3.2.1

$E_v$  adalah pengaruh beban gempa vertikal seperti didefinisikan dalam 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 58 sebagai berikut:

$$E_{mh} = 2,5Q_E \tag{58}$$

Keterangan:

$Q_E$  adalah pengaruh gaya gempa horisontal dari  $V$  atau  $F_p$ , seperti didefinisikan dalam 8.8.1, 8.7.5 dan 9.2.1



**PENGECUALIAN** 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 8.3.2 dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya yang ditetapkan dalam pasal 4, kombinasi beban gempa berikut harus digunakan sebagai pengganti dari kombinasi beban gempa dalam 4.2.2 atau 4.2.3 untuk struktur yang tidak dikenai beban banjir.

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan dengan faktor kuat-lebih (lihat 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  $5 \text{ kN/m}^2$ , 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 menyediakan tahanan terhadap aksi struktur dari gaya lainnya, tekanan tersebut tidak boleh dimasukkan dalam  $H$  tetapi harus dimasukkan dalam tahanan desain.

Kombinasi dasar untuk desain tegangan ijin dengan faktor kuat-lebih (lihat 4.2.2 dan pasal 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 kuat-lebih

Jika metodologi desain tegangan ijin digunakan dengan pengaruh beban gempa yang didefinisikan dalam 8.3.2 diterapkan dalam kombinasi beban 5, 6, atau 8 dari 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 standar ini atau dokumen referensi lainnya, kecuali jika kombinasi dengan durasi peningkatan beban yang diijinkan diperbolehkan dalam tata cara 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 17 dan harus sesuai dengan semua persyaratan pendetailan yang dirujuk dalam tabel tersebut. Koefisien modifikasi respons yang sesuai,  $R$ , yang

## SNI 1726:2012

ditunjukkan dalam Tabel 17 harus digunakan dalam menentukan gaya geser dasar dan gaya desain elemen seperti ditetapkan selanjutnya dalam persyaratan gempa pada tata cara ini.

Persyaratan khusus rangka dan pendetailan diberikan dalam 8.7 dan dalam 7.14 untuk struktur yang dirancang dengan berbagai kategori desain 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 desain dalam arah tersebut tidak boleh lebih besar dari nilai  $R$  terkecil untuk semua sistem yang digunakan dalam arah tersebut.

**PENGECUALIAN** Untuk bangunan dengan konstruksi rangka ringan atau mempunyai diafragma fleksibel dengan ketinggian dua tingkat atau kurang di atas permukaan tanah, elemen penahan boleh didesain 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 desain 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 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 8.3. Gaya gempa desain boleh diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah ortogonal dan kombinasi pengaruh seismik dari dua arah tidak perlu ditinjau. Beban yang berbalik arah harus ditinjau.

### 8.7 Persyaratan desain dan pendetailan

Desain dan pendetailan komponen sistem penahan gaya gempa harus sesuai dengan persyaratan pasal ini. Fondasi harus didesain untuk menahan gaya yang terjadi dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah desain. Sifat dinamis gaya, gerak tanah yang diharapkan, dasar desain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur, dan properti dinamis tanah harus disertakan dalam penentuan kriteria desain fondasi. Desain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan 8.13. Elemen

struktur termasuk elemen fondasi harus memenuhi persyaratan desain dan pendetailan material yang ditetapkan dalam 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 desain perioda pendek,  $S_{DS}$ , dikalikan nilai yang lebih besar dari berat bagian yang lebih kecil atau 5 persen berat bagian.

Sambungan pengaman 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 didesain untuk bekerja sebagai diafragma. Jika sambungan melalui diafragma, maka elemen pendukung elemen struktur harus juga dihubungkan pada diafragma. Sambungan harus mempunyai kuat desain 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 didesain 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.

**PENGECUALIAN** Dinding geser berlubang dari panel struktur kayu boleh digunakan bila didesain sesuai dengan tata cara 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 6). Elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya ke elemen penahan harus didesain untuk menahan gaya yang didefinisikan dalam 8.3.2.

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

### 8.7.4 Diafragma

Diafragma lantai dan atap harus didesain untuk menahan gaya gempa desain di masing-masing tingkat,  $F_x$ , yang dihitung sesuai dengan 8.8.2. Jika diafragma disyaratkan untuk menyalurkan gaya gempa desain 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 seismik yang disalurkan di tingkat itu,  $V_x$ , harus ditambahkan pada gaya desain diafragma. Diafragma harus dapat memikul tegangan geser dan lentur yang dihasilkan dari gaya-gaya tersebut. Diafragma harus mempunyai pengikat atau *strut* untuk mendistribusikan gaya pengangkur 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 59:

$$F_p = 0,4k_a S_{DS} W_p \quad (59)$$

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

$$k_a = 1 + \frac{L_f}{30} \quad (60)$$

$k_a$  tidak perlu lebih besar dari 2,0.

Keterangan:

$F_p$  adalah gaya desain per individu angkur

$k_a$  adalah faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma

$L_f$  adalah 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

$S_{DS}$  adalah percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

$W_p$  adalah 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

Pengankuran 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 pengankurannya harus didesain untuk gaya sebesar 40 persen dari percepatan respons spektral desain periode 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 Pengankuran sistem non struktural

Jika disyaratkan oleh pasal 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 seismik total yang diberikan oleh 8.8.1 dan harus didistribusikan secara vertikal sesuai dengan 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 61:

$$V = \frac{F S_{DS} W}{R} \quad (61)$$

di mana:

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

dimana  $F_a$  boleh diambil sebesar 1,0 untuk situs batu, 1,4 untuk situs tanah, atau ditentukan sesuai dengan 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 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 17

$W$  = berat seismik efektif struktur termasuk beban mati total struktur di atas elevasi tanah, 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 gempa efektif di tingkat yang ditinjau maka beban tersebut tidak perlu disertakan dalam penentuan beban gempa efektif;
- b. Beban hidup lantai pada struktur garasi dan gedung parkir terbuka tidak perlu disertakan.
2. Jika ketentuan untuk partisi yang disyaratkan oleh tata cara digunakan dalam desain beban lantai, maka berat partisi aktual atau berat minimum sebesar 0,5 kN/m<sup>2</sup>, 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:

$$F_x = \frac{w_x}{W} V \tag{62}$$

Keterangan:

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

**8.8.3 Distribusi geser horisontal**

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat,  $V_x$  (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \tag{63}$$

Keterangan:

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik,  $V$  (kN) yang timbul di tingkat,  $i$ .

**8.8.3.1 Struktur diafragma fleksibel**

Geser tingkat desain seismik di tingkat-tingkat struktur dengan diafragma fleksibel, seperti didefinisikan dalam 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 8.5, geser tingkat desain seismik,  $V_x$ , (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

Desain 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 didesain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan oleh gaya gempa yang ditentukan dalam 8.8.2. Fondasi struktur harus didesain untuk memikul tidak kurang dari 75 persen momen desain 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 desain penutup permukaan bangunan (*cladding*), atau untuk persyaratan desain lainnya, simpangan antar lantai harus diambil sebesar 1 persen ketinggian bangunan kecuali perhitungan menunjukkan kurang. Semua bagian struktur harus didesain 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 desain seismik pada elemen nonstruktural

### 9.1 Ruang lingkup

Pasal ini menetapkan kriteria desain minimum untuk elemen-elemen nonstruktural yang secara permanen disatukan pada struktur dan untuk tumpuannya serta untuk tambatannya. Bila berat suatu elemen nonstruktural adalah lebih besar dari atau sama dengan 25 persen berat seismik efektif struktur,  $W$ , yang didefinisikan dalam 7.7.2, maka elemen nonstruktural tersebut harus diklasifikasikan sebagai suatu struktur bangunan non gedung dan harus didesain sesuai dengan 10.1.3.b.

#### 9.1.1 Kategori desain seismik dan faktor keutamaan elemen

Elemen nonstruktural harus didesain dengan kategori desain seismik yang sama dengan kategori desain seismik struktur tempat elemen berada atau kategori desain seismik struktur penyokongnya. Semua elemen harus didesain 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 didesain dengan faktor keutamaan elemen  $I_p = 1,0$ .

**9.1.2 Pengecualian-pengecualian**

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

1. Perabot (kecuali lemari penyimpanan sebagaimana tercatat dalam Tabel 18);
2. Peralatan yang bersifat sementara atau yang dapat dipindahkan;
3. Elemen arsitektural pada kategori desain 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 elektrik pada kategori desain seismik B;
5. Elemen mekanikal dan elektrik pada kategori desain seismik C selama faktor keutamaan elemen  $I_p$  adalah 1,0;
6. Elemen mekanikal dan elektrik pada kategori desain 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 didesain sesuai dengan pasal 10. Jika 10.1.3 mensyaratkan bahwa gaya gempa ditentukan sesuai dengan pasal 9 dan nilai untuk  $R_p$  tidak diberikan pada Tabel 18 atau 19, maka  $R_p$  harus diambil sama dengan nilai  $R$  yang diberikan pada pasal 10. Nilai  $a_p$  diambil sesuai dengan nilai  $a$  pada catatan kaki Tabel 18 atau 19.

**9.2 Pengaruh gempa rencana**

**9.2.1 Gaya gempa desain**

Gaya gempa desain horisontal ( $F_p$ ) harus diterapkan pada titik berat elemen dan didistribusikan sesuai dengan distribusi massa elemen dan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 64:

$$F_p = \frac{0,4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \tag{64}$$

$F_p$  tidak perlu lebih besar dari

$$F_p = 1,6 S_{DS} I_p W_p \tag{65}$$

dan  $F_p$  tidak boleh lebih kecil dari

$$F_p = 0,3 S_{DS} I_p W_p \tag{66}$$

Keterangan:

$F_p$  = gaya seismik rencana

$S_{DS}$  = percepatan spektra pada perioda pendek, seperti yang ditentukan 6.3

$a_p$  = faktor amplifikasi elemen, bervariasi dari 1,00 sampai 2,50 (gunakan nilai yang sesuai dari Tabel 18 atau 19)

$I_p$  = faktor keutamaan elemen, bervariasi dari 1 sampai 1,5 (Lihat 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 18 atau 19)

$z$  = 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 didesain untuk suatu gaya gempa vertikal sebesar  $\pm 0,2S_{DS}W_p$  yang bekerja secara bersamaan dengan  $F_p$ . Faktor redundansi,  $\rho$ , dapat diambil sebesar 1 dan faktor kuat lebih,  $\Omega_0$ , tidak berlaku disini.

**PENGECUALIAN** Gaya gempa 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 pasal ini harus tetap berlaku.

Sebagai ganti gaya-gaya yang ditentukan dengan Persamaan 64, percepatan pada sebarang tingkat dapat ditentukan dengan prosedur analisis ragam berdasarkan 7.9 dengan  $R = 1,0$ . Gaya gempa ditentukan dengan Persamaan 67:

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{\left( \frac{R_p}{I_p} \right)} A_x \quad (67)$$

**Keterangan:**

$a_i$  adalah percepatan pada tingkat ke- $i$  yang didapat dari analisis ragam dan dimana  $A_x$  adalah faktor amplifikasi torsi yang ditentukan dengan Persamaan 33. Batas atas dan batas bawah  $F_p$  tetap mengacu pada Persamaan 65 dan Persamaan 66.

### 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:

$$D_{pl} = D_p I_e \quad (68)$$

dimana  $D_p$  ditentukan sesuai persamaan-persamaan dalam 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:

$$D_p = \Delta_{xA} - \Delta_{yA} \tag{69}$$

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

$$D_p = \frac{(h_x - h_y) \Delta_{aA}}{h_{sx}} \tag{70}$$

**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:

$$D_p = |\delta_{xA}| + |\delta_{yB}| \tag{71}$$

$D_p$  tidak perlu lebih besar dari:

$$D_p = \frac{h_x \Delta_{aA}}{h_{sx}} + \frac{h_y \Delta_{aB}}{h_{sx}} \tag{72}$$

**Keterangan:**

$D_p$  = perpindahan relatif seismik, di mana elemen harus didesain untuk mengakomodasinya

$\delta_{xA}$  =perpindahan bangunan di tingkat  $x$  pada Struktur A, ditentukan berdasarkan Persamaan 34

$\delta_{yA}$  =perpindahan bangunan di tingkat  $y$  pada Struktur A, ditentukan berdasarkan Persamaan 34

$\delta_{yB}$  =perpindahan bangunan di tingkat  $y$  pada Struktur B, ditentukan berdasarkan Persamaan 34

$h_x$  = tinggi tingkat  $x$  di mana titik sambungan atas diletakkan

$h_y$  = tinggi tingkat  $y$  di mana titik sambungan bawah diletakkan

$\Delta_{aA}$  = simpangan antar lantai yang diijinkan untuk struktur A seperti yang didefinisikan pada Tabel 16

$\Delta_{aB}$  =simpangan antar lantai yang diijinkan untuk struktur B seperti yang didefinisikan pada Tabel 16

$h_{sx}$  =tinggi antar lantai yang digunakan dalam pendefinisian simpangan yang diijinkan  $\Delta_a$  pada Tabel 16

**CATATAN**  $\Delta_a / h_{sx}$  =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 didesain dan dibuat untuk gaya-gaya elemen yang menentukan desain elemen atau sambungannya. Gaya-gaya elemen haruslah sebagaimana ditentukan sesuai 9.2.1, kecuali bahwa modifikasi untuk  $F_p$  dan  $R_p$ , akibat kondisi pengangkur tidak perlu diperhitungkan. Dokumen desain harus mencakup informasi yang memadai mengenai tambatan yang digunakan untuk menentukan kesesuaiannya dengan ketentuan pada bagian ini.

#### 9.3.2 Gaya desain

Gaya pada tambatan harus ditentukan berdasarkan gaya dan perpindahan elemen yang diberikan dalam 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 didesain sesuai dengan tata cara yang berlaku.

##### 9.3.3.2 Angkur pada bata

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

**PENGECEUALIAN** Angkur harus dihubungkan ke struktur utama bangunan dan didesain 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 tata cara 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. Desain pengangkuran pada beton, sesuai dengan peraturan yang berlaku, memenuhi persyaratan pasal 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 desain seismik D, E, atau F kecuali telah ditetapkan untuk pembebanan seismik. Penggunaan baut dengan pengencang mesin pada bata tidak diijinkan kecuali telah ditetapkan untuk pembebanan seismik.

**PENGECUALIAN** Baut dengan pengencang mesin yang ditanamkan pada beton dan difungsikan untuk menopang lantai akustik atau panel langit-langit dan sistem yang telah terdistribusi di mana beban layan pada satu baut tidak melebihi 0,4 kN. Baut dengan pengencang mesin yang ditanamkan pada baja di mana beban layan pada satu baut tidak melebihi 1112 kN.

### 9.3.7 Klip friksi

Klip friksi pada kategori desain seismik D, E atau F tidak boleh digunakan untuk menopang beban menerus/berkelanjutan atau sebagai penahan beban gempa. 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 18.

**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 desain 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 desain;
2. Pengaruh interaksi seismik harus diperhitungkan;
3. Sambungan ke struktur harus memperbolehkan rentang gerakan  $360^\circ$  pada bidang horisontal.



#### 9.4.2 Gaya dan perpindahan

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

**Tabel 18 Koefisien untuk elemen arsitektural**

Elemen arsitektural	$a_p^a$	$R_p^b$
Dinding nonstruktural interior dan partisi <sup>b</sup>		
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 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	2,5
Elemen dinding nonstruktural eksterior dan sambungan <sup>b</sup>		
Elemen dinding	1,0	2,5
Kumpulan sambungan dinding panel	1,0	2,5
Pengencang (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 diatap (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 penyimpanan dan peralatan laboratorium	1,0	2,5
Lantai Akses		
Lantai akses khusus (Didesain Sesuai dengan 6.5.7.2)	1,0	2,5
Lainnya	1,0	1,5
Gantungan dan ornament	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

<sup>a</sup> 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 tertambat fleksibel.

<sup>b</sup> Jika diafragma yang fleksibel memberikan penyokong lateral untuk dinding beton atau bata dan partisi, gaya desain untuk pengangkuran ke diafragma harus sesuai dengan ketentuan di dalam 7.11.2.

## 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 dalam 9.3. Koefisien yang sesuai harus dipilih dari Tabel 19.

**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 desain 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 desain;
2. Pengaruh interaksi gempa harus diperhitungkan;
3. Sambungan ke struktur harus memperbolehkan rentang gerakan 360° pada bidang horisontal.

Jika desain 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 19 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 pasal 10	1,0	2,5
Tangki bertekanan yang tersokong yang tidak tercakup dalam pasal 10	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

Tabel 19 (lanjutan)

Elemen mekanikal dan elektrikal	$a_p^a$	$R_p^b$
<b>Elemen dan sistem yang terisolasi terhadap getaran<sup>b</sup></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
<b>Sistem Distribusi</b>		
Pemipaan sesuai tata cara yang berlaku, termasuk elemen di dalamnya, dengan sambungan yang terbuat dengan pengelasan.	2,5	12,0
Pemipaan sesuai tata cara yang berlaku, 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 tata cara yang berlaku, 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 (Plumbing)	1,0	2,5
Ban berjalan untuk manufaktur dan proses	2,5	3,0

<sup>a</sup> 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.

<sup>b</sup> 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 Struktur bangunan non gedung yang diletakkan di tanah atau menumpu pada struktur lainnya harus direncanakan untuk memikul gaya lateral yang secara spesifik diberikan pada pasal 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 7.8 untuk prosedur gaya lateral ekivalen, atau 7.9 untuk prosedur analisis ragam, atau 11.1 untuk prosedur analisis respons riwayat waktu linier, atau 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 21 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 pasal 9 di mana nilai  $R_p$  dan  $a_p$  harus ditentukan sesuai 9.1. Struktur penumpu harus direncanakan menurut ketentuan pada pasal 7, atau 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 10.2.3), maka desain struktur bangunan non gedung dan penambatannya mengikuti prosedur untuk elemen nonstruktural (pasal 9) di mana nilai  $R_p$  harus diambil sama dengan nilai  $R$  untuk struktur non gedung yang dicantumkan dalam Tabel 21, dan nilai  $a_p$  harus diambil 1,0. Struktur penumpu harus direncanakan menurut ketentuan-ketentuan pada pasal 7 atau 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 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 desain struktur

### 10.2.1 Dasar perencanaan

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

1. Sistem penahan gaya gempa harus dipilih sebagai berikut:
  - a. Untuk struktur bangunan non gedung yang menyerupai gedung, sistem struktur dipilih berdasarkan tipe struktur pada Tabel 9 atau Tabel 20, dengan memperhatikan batasan sistem dan ketinggian sesuai dengan kategori desain seismik. Nilai  $R$ ,  $\Omega_0$  dan  $C_d$  pada Tabel 20 digunakan untuk menentukan gaya geser dasar, gaya-gaya desain elemen struktur, dan simpangan antar tingkat;
  - b. Untuk struktur bangunan non gedung yang tidak menyerupai gedung, sistem struktur dipilih berdasarkan tipe struktur pada Tabel 21, dengan memperhatikan batasan sistem dan ketinggian, sesuai dengan kategori desain seismik. Nilai  $R$ ,  $\Omega_0$  dan  $C_d$  pada Tabel 21 digunakan untuk menentukan gaya geser dasar, gaya-gaya desain elemen struktur, dan simpangan antar tingkat;
  - c. Untuk struktur bangunan non gedung yang tidak tercantum pada Tabel 20 atau 21, maka kriteria desain harus menggunakan dokumen referensi khusus untuk struktur tersebut.
2. Untuk struktur bangunan non gedung dengan nilai  $R$  berdasarkan Tabel 21, maka nilai koefisien respons gempa  $C_s$  dalam Persamaan 25 harus diganti dengan:

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \quad (73)$$

Nilai  $C_s$  tidak boleh diambil kurang dari 0,03

Dan untuk struktur bangunan non gedung yang berada pada daerah di mana  $S_1 \geq 0,6g$ , maka nilai  $C_s$  dalam Persamaan 25 harus diganti dengan

$$C_s = 0,8S_1/(R/I_e) \quad (73)$$

3. Faktor keutamaan,  $I_e$ , ditentukan sesuai dengan 10.2.2;
4. Distribusi gaya gempa dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam 7.8.3 atau 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 desain tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan oleh referensi khusus untuk sistem tersebut;
6. Gaya geser dasar dapat direduksi sesuai dengan pasal 13 untuk memperhitungkan efek interaksi tanah-struktur. Nilai gaya geser yang telah direduksi tidak boleh kurang dari  $0,7V$ ;



7. Kecuali dinyatakan lain dalam Pasal ini, kombinasi pembebanan untuk struktur terhadap gaya gravitasi dan gaya gempa mengikuti kombinasi beban terfaktor dalam 4.3.

### 10.2.2 Faktor keutamaan gempa

Faktor keutamaan gempa,  $I_e$ , 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 2, ketentuan pada beberapa pasal dalam pasal 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 didesain untuk gaya lateral berikut:

$$V = 0,30S_{DS}WI_e \quad (75)$$

#### Keterangan:

$V$  = gaya geser dasar total rencana yang bekerja pada struktur bangunan non gedung;

$S_{DS}$  = percepatan spektra desain, seperti yang ditentukan dari 6.3

$W$  = berat operasional struktur bangunan non gedung

$I_e$  = faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan 10.2.2

Gaya tersebut didistribusikan sepanjang tinggi bangunan sesuai dengan 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 dalam 7.8.2. Sebagai alternatif, periode fundamental,  $T$ , dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \quad (76)$$

Nilai  $f_i$  mewakili distribusi gaya lateral di sepanjang tinggi bangunan, dan deformasi elastik  $\delta_i$  dihitung menggunakan gaya lateral  $f_i$ . Persamaan-persamaan 27, 28, 29, dan 30, tidak dapat digunakan untuk menghitung periode 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 desain struktur bangunan non gedung dapat dilakukan berdasarkan kriteria spesifik situs yang meliputi kondisi geologi dan kegempaan lokal, periode ulang, serta magnituda gempa yang diketahui.

**Tabel 20 Koefisien gempa untuk struktur non gempa serupa gedung**

Jenis struktur bangunan non gedung	$R$	$\Omega_0$	$C_d$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Bangunan (m) <sup>a,e</sup>				
				A & B	C	D	E	F
Rak penyimpanan (struktur baja)	4	2	3,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem rangka gedung:								
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	2½	2	2½	TB	TB	48	48	30
Tanpa batasan ketinggian	1,5	1	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem rangka pemikul momen:								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 <sup>c,d</sup>	TI <sup>c,d</sup>	TI <sup>c,d</sup>
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	2,5	2	2,5	TB	TB	48	48	30
Tanpa batasan ketinggian	1,5	1	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	3	2	2,5	TB	TB	15	15	15
Tanpa batasan ketinggian	0,8	1	1	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI <sup>c,d</sup>	TI <sup>c,d</sup>	TI <sup>c,d</sup>
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	2,5	2	2,5	TB	TB	30	30	TI <sup>c,d</sup>
Tanpa batasan ketinggian	1	1	1	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
Dengan tambahan ketinggian yang diijinkan	0,8	1	1	TB	TB	15	15	15

<sup>a</sup> TB = tidak ada batasan (*no limit*) dan TI = tidak diijinkan (*not permitted*). Ketinggian harus diukur dari dasar;

<sup>b</sup> Rangka bresing baja biasa diijinkan penggunaannya untuk rak pipa sampai ketinggian 20 m;

<sup>c</sup> 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;

<sup>d</sup> Rangka momen baja biasa dan menengah diijinkan penggunaannya untuk rak pipa sampai ketinggian 10 m;

<sup>e</sup> 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 21 Koefisien seismik untuk struktur non gempa tidak serupa gedung

Jenis Struktur bangunan non gedung	$R$	$\Omega_0$	$C_d$	Sistem Struktur dan Batasan Ketinggian (m) <sup>a,e</sup>				
				A & B	C	D	E	F
Tangki, wadah, bak atau <i>hopper</i>								
Sokongan dengan pengaku simetris (tidak serupa gedung)	3	2 <sup>b</sup>	2,5	TB	TB	48	30	30
Sokongan tidak berpengaku atau berpengaku tidak simetris (tidak serupa gedung)	2	2 <sup>b</sup>	2,5	TB	TB	30	18	18
Wadah baja horisontal yang dilas yang ditumpu dengan kuda-kuda	3	2 <sup>b</sup>	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Tangki atau wadah yang disokong oleh menara struktural serupa gedung	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:								
Baja atau plastik dengan penguat serat								
Diangkur secara mekanis	3	2 <sup>b</sup>	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Diangkur sendiri	2,5	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton bertulang atau prategang:				TB	TB	TB	TB	TB
Dasar tidak bergeser yang diperkuat	2	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang diangkur	3,25	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang tidak diangkur dan dikekang	1,5	1,5 <sup>b</sup>	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Jenis lainnya	1,5	1,5 <sup>b</sup>	1,5	TB	TB	TB	TB	TB
Silo beton yang dicetak di lapangan, cerobong yang memiliki dinding yang menerus ke fondasi	3	1,75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur dinding bata yang diperkuat yang tidak serupa gedung.	3	2	2,5	TB	TB	TB	15	15
Semua struktur dinding bata tak diperkuat yang tidak serupa gedung.	1,25	2	1,5	TB	TB	15	15	15
Cerobong beton	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	3	2	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
Baja yang dilas	2	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Baja yang dilas dengan pendetailan khusus	3	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton prategang atau bertulang	2	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton prategang atau beton bertulang dengan pendetailan khusus	3	2 <sup>b</sup>	2	TB	TB	TB	TB	TB
Menara rangka batang (berdiri bebas atau dipandu/diangkur/ <i>guyed</i> ), cerobong diikat kabel dan cerobong biasa	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								

**Tabel 21 Koefisien seismik untuk struktur non gempa tidak serupa gedung(lanjutan)**

Jenis Struktur bangunan non gedung	$R$	$\Omega_0$	$C_d$	Sistem Struktur dan Batasan Ketinggian (m) <sup>a,e</sup>				
				A & B	C	D	E	F
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	2	2	2	TB	TB	TB	TB	TB
Struktur bertipe pendulum terbalik (kecuali tank, wadah, bak yang berada di ketinggian)	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

<sup>a</sup> TB = tidak ada batasan(*no limit*) dan TI = tidak diijinkan(*not permitted*). Ketinggian harus diukur dari dasar;

<sup>b</sup> Lihat 8.7.3a untuk penggunaan faktor kuat lebih,  $\Omega_0$ , untuk tangki dan wadah;

<sup>c</sup> Jika tidak ada pasal yang dicantumkan pada kolom ke-2, maka tidak diperlukan persyaratan pendetailan khusus;

<sup>d</sup> 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 pasal 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 desain 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 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 desain setempat untuk rentang perioda dari  $0,2T$  hingga  $1,5T$ , di mana  $T$  adalah perioda getar alami struktur dalam ragam getar fundamental untuk arah respons yang dianalisis.

### 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 di skalakan dari rekaman peristiwa gempa individual. Gerak tanah yang sesuai harus diseleksi dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Apabila jumlah pasangan rekaman gerak tanah yang sesuai tidak mencukupi maka harus digunakan pasangan gerak tanah buatan untuk menggenapi jumlah total yang dibutuhkan. Untuk setiap pasang komponen gerak tanah horisontal, suatu spektrum SRSS harus dibuat dengan mengambil nilai SRSS dari spektrum respons dengan 5 persen faktor redaman untuk komponen-komponen gerak tanah yang telah diskalakan (di mana faktor skala yang sama harus digunakan untuk setiap komponen dari suatu pasangan gerak tanah). Setiap pasang gerak-gerak tanah tersebut harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang perioda dari  $0,2T$  hingga  $1,5T$ , nilai rata-rata spektrum SRSS dari semua pasang komponen horizontal tidak boleh kurang dari nilai ordinat terkait pada spektrum respons yang digunakan dalam desain, yang ditentukan sesuai dengan 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 gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2 dan  $R$  adalah Koefisien Modifikasi Respons yang ditentukan sesuai dengan 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 9.

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,  $\Delta_i$ , pada setiap lantai seperti yang didefinisikan dalam 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 25 atau bila berada di lokasi dengan  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari  $0,6g$ , menggunakan nilai minimum  $C_s$  yang ditentukan dalam Persamaan 25, 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 24, atau bila berada di lokasi dengan  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari  $0,6g$ , menggunakan nilai minimum  $C_s$  yang ditentukan dalam Persamaan 25.

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 25, maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan  $0,85C_sW/V_i$ .

Jika digunakan paling sedikit tujuh gerak tanah dalam analisis, gaya-gaya elemen struktur yang digunakan dalam kombinasi beban 7.4.2.1 dan simpangan antar lantai yang digunakan dalam evaluasi simpangan antar lantai sesuai dengan 7.12.1 dapat diambil sebagai nilai rata-rata dari masing-masing nilai  $Q_{Ei}$  dan  $\Delta_i$  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  $\Delta_i$  hasil analisis yang telah diskalakan.

Dalam hal tata cara ini mensyaratkan ketentuan tentang pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat lebih 7.4.3, maka nilai  $\Omega_0 Q_E$  tidak perlu diambil lebih besar dari nilai maksimum,  $Q_{Ei}$ , yang didapat dari analisis tanpa penyesuaian skala.

### 11.1.5 Distribusi gaya geser horisontal

Distribusi gaya geser horisontal harus mengikuti ketentuan 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 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 desain untuk situs yang ditinjau. Analisis harus dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam pasal berikut ini, dengan memperhatikan 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 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 gempa yang ortogonal dan independen, model 2-D yang independen diperbolehkan dalam analisis untuk merepresentasikan masing-masing sistem. Untuk struktur yang memiliki ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 (Tabel 10) 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 gempa, maka model harus mengikutkan representasi fleksibilitas diafragma, dan dalam hal ini diperlukan penambahan derajat kebebasan dinamik sesuai dengan kebutuhan untuk memperhitungkan partisipasi diafragma tersebut dalam respons dinamik struktur.

### 11.2.3 Gerak tanah dan pembebanan lainnya

Gerak tanah harus mengikuti persyaratan 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,  $\Psi_i$ , dan simpangan antar lantai  $\Delta_i$ , pada setiap lantai harus ditentukan, di mana  $i$  adalah penamaan untuk setiap gerak tanah yang dipertimbangkan.

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



#### 11.2.4.1 Kuat elemen struktur

Kecukupan kekuatan elemen struktur untuk memikul kombinasi beban dalam 7.4 tidak perlu dievaluasi.

**PENGECUALIAN** Apabila tata cara ini mensyaratkan peninjauan pengaruh beban gempa dengan faktor kuat lebih sesuai 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 desain,  $\psi_i$ , 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,  $\Delta_i$ , yang didapat dari analisis tidak boleh melebihi 125 persen batasan simpangan antar lantai yang disyaratkan dalam 7.12.1.

#### 11.2.5 Penelaahan desain

Penelaahan desain sistem penahan gaya gempa dan analisis struktural harus dilakukan oleh tim perencana profesional terdaftar yang independen, dalam disiplin ilmu yang sesuai, dan tim-tim lain yang berpengalaman dalam metoda analisis seismik serta teori dan aplikasi analisis seismik nonlinier termasuk perilaku struktur terhadap beban siklis yang ekstrim.

Penelaahan desain harus mencakup, tetapi tidak terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

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 desain awal termasuk pemilihan sistem struktur dan konfigurasi elemen-elemen struktur;
4. Penelaahan hasil desain 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 pasal ini dan ketentuan yang berlaku dalam tata cara 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 gempa

Semua bagian struktur, termasuk struktur di atas sistem isolasi, harus dirancang dengan kategori risiko sesuai dengan Tabel 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 $S_{M1}$

Parameter percepatan respons spektral  $MCE_R$ ,  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  harus ditentukan sesuai dengan 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 dalam 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

$0,025W$  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 12.2:

1. Respons gempa maksimum yang dipertimbangkan dihitung menurut persyaratan analisis dinamik dalam 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 4.2.2 untuk beban vertikal maksimum dan kombinasi pembebanan 7 dari 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 retro fitting di batas pemisahan sistem isolasi, termasuk komponen-komponen yang melintasi batas pemisahan isolasi, harus dilakukan di bawah pengarahannya 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 pasal 10 dengan menggunakan perpindahan dan gaya rencana yang dihitung menurut 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 pasal 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.

**PENGECUALIAN** Elemen-elemen struktur yang menggunakan isolasi seismik dan komponen nonstruktural atau bagian-bagiannya yang direncanakan untuk menahan gaya dan perpindahan seperti disyaratkan di pasal 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 7.1 dan pasal 9.

### 12.3 Gerak tanah untuk sistem isolasi

#### 12.3.1 Spektrum rencana

Tata cara penentuan gerak tanah spesifik-situs yang ditetapkan dalam pasal 6, boleh digunakan untuk menentukan gerak tanah untuk semua jenis struktur. Untuk struktur dengan kelas situs  $SF$ , analisis respons situs harus dilakukan sesuai dengan 6.10.1. Untuk struktur dengan isolasi seismik yang dibangun di situs dengan  $S_1 \geq 0,6$ , suatu analisis bahaya gerak tanah harus dilakukan sesuai dengan 6.10.2. 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 Pasal 6.4.

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 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 12.5.3.

### 12.4 Pemilihan prosedur analisis

Struktur dengan isolasi seismik, kecuali yang ditentukan di 12.4.1, harus direncanakan dengan menggunakan prosedur dinamis sesuai 12.6.

#### 12.4.1 Prosedur gaya lateral ekuivalen

Prosedur gaya lateral ekuivalen di 12.5 boleh digunakan untuk perencanaan struktur dengan isolasi seismik dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Struktur terletak di situs dengan  $S_1$  kurang atau sama dengan  $0,60g$ .
2. Struktur terletak pada kelas situs  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$ , atau  $SD$ .

## SNI 1726:2012

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 dipasal 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 26 atau 27.
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 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 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.

#### PENGECUALIAN

1. Struktur terletak di kelas situs SA, SB, SC, atau SD
2. Sistem isolasi memenuhi kriteria no. 7 di 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 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 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:

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (77)$$

Keterangan:

$g$  = percepatan gravitasi. Satuan  $g$  adalah mm/det<sup>2</sup> 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 6.3

$T_D$  = perioda efektif struktur dengan isolasi seismik, dalam detik, pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 78

$B_D$  = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana,  $\beta_D$ , seperti yang diatur dalam Tabel 22

**Tabel 22 Koefisien redaman,  $B_D$  atau  $B_M$**

Redaman Efektif, $\beta_D$ atau $\beta_M$ (persentase dari redaman kritis) <sup>a,b</sup>	Faktor $B_D$ atau $B_M$
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

<sup>a</sup> Koefisien redaman harus berdasarkan redaman efektif sistem isolasi yang ditentukan menurut persyaratan-persyaratan di 12.8.5.2.

<sup>b</sup> 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:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\min} g}} \quad (78)$$

Keterangan:

$W$  = berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan di dalam 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 91
- $g$  = 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:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (79)$$

Keterangan:

- $g$  = percepatan gravitasi
- $S_{M1}$  = parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5 persen pada perioda 1 detik dengan satuan  $g$  seperti yang ditentukan dalam 6.4.2
- $T_M$  = perioda 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,  $\beta_{Ms}$ , seperti yang diatur dalam Tabel 22

### 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:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{M_{min}} g}} \quad (80)$$

Keterangan:

- $W$  = berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi seperti ditentukan di 7.7.2, dinyatakan dalam kilo newton (kN)
- $k_{M_{min}}$  = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, dinyatakan dalam kilo newton per milimeter (kN/mm), pada saat perpindahan maksimum di arah horisontal yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 93
- $g$  = 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:

$$D_{TD} = D_D \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (81)$$

$$D_{TM} = D_M \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (82)$$

**Keterangan:**

$D_D$  = perpindahan rencana di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 77

$D_M$  = perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 79

$y$  = 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

**PENGECUALIAN** 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:

$$V_b = k_{D \max} D_D \quad (83)$$

**Keterangan:**

$k_{D \max}$  = kekakuan efektif maksimum, dalam kN/mm, dari sistem isolasi pada perpindahan rencana dalam arah horisontal yang ditinjau seperti ditentukan Persamaan 90

$D_D$  = perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 77

$V_b$  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:

$$V_s = \frac{k_{D\max} D_D}{R_I} \tag{84}$$

Keterangan:

- $k_{D\max}$  =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 77
- $R_I$  =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 9, 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 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:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \tag{85}$$

Keterangan:

- $F_x$  =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 Persamaan 84
- $w_x$  =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  $0,015 h_{sx}$ . Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan Persamaan 34 dengan faktor  $C_d$  dari sistem isolasi sama dengan faktor  $R_f$  yang ditentukan di 12.5.4.2.

## 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 7.7.3 dan persyaratan-persyaratan di 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 dalam 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 12.5.4.2.

### 12.6.3 Penjelasan prosedur

#### 12.6.3.1 Umum

Prosedur spektrum respons dan riwayat respons harus dilakukan sesuai dengan 7.9 dan pasal 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 85 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 di skala sesuai dengan 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 desain. Jika gerak tanah yang digunakan untuk analisis kurang dari 7 pasang, maka nilai maksimum dari parameter respons yang terkait harus digunakan untuk desain.



## 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 83.

Perpindahan rencana total dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 90 persen  $D_{TD}$  seperti yang ditentukan dalam 12.5.3.5. Perpindahan maksimum total dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 80 persen  $D_{TM}$  seperti yang ditentukan dalam 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 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:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (86)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (86)$$

#### Keterangan:

$D_D$  = perpindahan rencana, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 77

$D_M$  = perpindahan maksimum, dalam mm, di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau seperti yang ditentukan oleh Persamaan 79

$T$  = periode elastis struktur terjepit di dasarnya, di atas sistem isolasi seperti yang ditentukan di 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 78

$T_M$  = periode efektif, dalam detik, dari struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau seperti yang ditentukan dalam Persamaan 80

### 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 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 12.5.4.3.

## SNI 1726:2012

**PENGECUALIAN** 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 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 Pengskalaan 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 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  $0,015 h_{sx}$ .
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  $0,020 h_{sx}$ .

Simpangan antar lantai harus dihitung dengan menggunakan Persamaan 34 dengan faktor  $C_d$  dari struktur dengan isolasi sama dengan faktor  $R_f$  yang ditetapkan di dalam 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  $0,010/R_f$ .

## 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 (lihat 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 (lihat 12.2.4.9).

## 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 dalam 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  $1,0D_D$ , di mana  $D_D$  dan  $D_M$  masing-masing ditentukan dalam 12.5.3.1 dan 12.5.3.3, atau 12.6 yang sesuai.
3. 3 siklus pembebanan bolak balik secara penuh pada perpindahan maksimum total,  $1,0D_{TM}$ .
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 dalam 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 12.8.2.2 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 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 12.2.4.6 pada sembarang unit isolator dengan jenis dan ukuran yang sama. Beban mati,  $D$ , dan beban hidup,  $L$  ditentukan dalam 7.4. Beban gempa,  $E$ , dihitung sesuai dengan Persamaan 14 dan 15 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 dalam 12.8.2.

Kekakuan efektif dari suatu unit isolator,  $k_{\text{eff}}$ , harus dihitung untuk setiap siklus pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$k_{\text{eff}} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (88)$$

dimana  $F^+$  and  $F^-$  adalah gaya-gaya positif dan negatif masing-masing pada  $\Delta^+$  dan  $\Delta^-$ .

Redaman efektif,  $\beta_{\text{eff}}$ , dari suatu unit isolator harus dihitung untuk setiap siklus pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{\text{loop}}}{k_{\text{eff}} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad (89)$$

dimana energi disipasi di setiap siklus pembebanan,  $E_{\text{loop}}$ , dan kekakuan efektif,  $k_{\text{eff}}$ , harus didasarkan pada perpindahan pengujian puncak  $\Delta^+$  dan  $\Delta^-$ .

#### 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 12.8.2 mempunyai peningkatan kapasitas penahan gaya yang positif;
2. Untuk setiap penambahan perpindahan pengujian yang ditentukan di butir 2 pada 12.8.2.2 dan untuk setiap kasus beban vertikal dalam 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 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 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 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 pada 12.8.2.2 dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$k_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2D_D} \tag{90}$$

$$k_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2D_D} \tag{91}$$

Pada perpindahan maksimum, kekakuan efektif maksimum dan minimum sistem isolasi,  $k_{Mmax}$  dan  $k_{Mmin}$ , harus berdasarkan pengujian siklik dan dihitung dengan persamaan:

$$k_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2D_M} \tag{92}$$

$$k_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2D_M} \tag{93}$$

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 dalam 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,  $\beta_D$ , harus didasarkan pada pengujian siklik dari butir 2 dalam 12.8.2.2 dan dihitung berdasarkan persamaan:



$$\beta_D = \frac{\sum E_D}{2\pi k_{D_{\max}} D_D^2} \quad (94)$$

Dalam Persamaan 94, 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,  $\beta_M$ , harus didasarkan pada pengujian siklik dari butir 2 dalam 12.8.2.2 dan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_{M_{\max}} D_M^2} \quad (95)$$

Dalam Persamaan 95, 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 desain 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 13.2, dan ketentuan tentang penggunaan prosedur analisis ragam dibahas dalam 13.3.

#### 13.2 Prosedur penentuan gaya lateral ekuivalen

Ketentuan berikut ini merupakan tambahan atas materi yang telah disajikan dalam 7.8.

##### 13.2.1 Gaya geser dasar (*base shear*)

Guna memperhitungkan pengaruh interaksi tanah- struktur, gaya geser dasar ( $V$ ) yang didapatkan dari Persamaan 21 harus direduksi menjadi:

$$\tilde{V} = V - \Delta V \quad (96)$$

Reduksi ( $\Delta V$ ) harus dihitung sesuai persamaan dibawah ini, tetapi nilainya tidak boleh melebihi  $0,3V$ .

$$\Delta V = \left[ C_s - \tilde{C}_s \left( \frac{0,05}{\tilde{\beta}} \right)^{0,4} \right] \bar{W} \leq 0,3V \tag{97}$$

Keterangan:

$C_s$  adalah koefisien desain gempa dihitung dari Persamaan 22, 23 dan 24 menggunakan perioda alami fundamental dari struktur dasarnya terjepit ( $T$  atau  $T_a$ ) sebagaimana dijelaskan dalam 7.8.1

$\tilde{C}$  adalah nilai  $C_s$  dihitung dari Persamaan 22 dan 23 menggunakan perioda alami struktur dengan tumpuan fleksibel ( $\tilde{T}$ ) seperti ditunjukkan dalam 13.2.1.1

$\tilde{\beta}$  adalah redaman kritis untuk sistem struktur-fondasi yang dihitung sesuai 13.2.1.2

$\bar{W}$  adalah berat seismik 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 efektif ( $T$ ) harus dihitung sebagai berikut:

$$\tilde{T} = T \sqrt{1 + \frac{\bar{k}}{K_y} \left( 1 + \frac{K_y \bar{h}^2}{K_\theta} \right)} \tag{98}$$

**Keterangan:**

$T$  = periode fundamental struktur yang dihitung sesuai 7.8.2

$\bar{k}$  = kekakuan stuktur pada kondisi dasar terjepit, ditentukan sebagai berikut:

$$\bar{k} = 4\pi^2 \left( \frac{\bar{W}}{gT^2} \right) \tag{99}$$

Keterangan:

$\bar{h}$  = 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 di mana analisis dilakukan

$K_\theta$  = 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  $K_\theta$ ) 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 23 di mana:

- $v_{so}$  adalah kecepatan gelombang geser rata-rata dari tanah di bawah fondasi pada tingkat regangan kecil ( $10^{-3}$  percent atau lebih kecil)
- $G_o$  adalah  $\gamma v_{so}^2 / g$  = modulus geser rata-rata dari tanah di bawah fondasi pada tingkat regangan kecil
- $\gamma$  adalah berat jenis tanah.

**Tabel 23 Nilai  $G/G_o$  dan  $v_s/v_{so}$**

Kelas Situs	Nilai $v_s/v_{so}$			Nilai $G/G_o$		
	$S_{DS}/2,5$			$S_{DS}/2,5$		
	$\leq 0,1$	<b>0,4</b>	$\geq 0,8$	$\leq 0,1$	<b>0,4</b>	$\geq 0,8$
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	<i>a</i>	0,60	0,05	<i>a</i>
SF	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>

**CATATAN** 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:

$$\tilde{T} = T \sqrt{1 + \frac{25\alpha r_a \bar{h}}{v_s^2 T^2} \left( 1 + \frac{1,12 r_a \bar{h}^2}{\alpha_\theta r_m^3} \right)} \quad (100)$$

Keterangan:

$\alpha$  =kepadatan berat relatif struktur dan tanah ditentukan dari

$$\alpha = \frac{\bar{W}}{\gamma A_o \bar{h}} \quad (101)$$

$r_a$  dan  $r_m$  =panjang fondasi karakteristik ditentukan berdasarkan

$$r_a = \sqrt{\frac{A_o}{\pi}} \quad (102)$$

dan

$$r_m = 4 \sqrt{\frac{4I_o}{\pi}} \quad (103)$$

Keterangan:

$A_o$  =luas area fondasi yang memikul beban

$I_o$  =momen inersia statis dari fondasi yang memikul beban terhadap sumbu horisontal yang tegak lurus terhadap arah di mana struktur dianalisis

$\alpha_\theta$  =faktor kekakuan fondasi dinamis untuk *rocking* seperti ditentukan dalam Tabel 24

$v_s$  = kecepatan gelombang geser

$T$  =periode fundamental struktur sebagaimana ditentukan dalam 7.8.2

**Tabel 24 Nilai  $\alpha_\theta$**

$r_m / v_s T$	$\alpha_\theta$
< 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:

$$\tilde{\beta} = \beta_o \frac{0,05}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^3} \tag{104}$$

Keterangan:

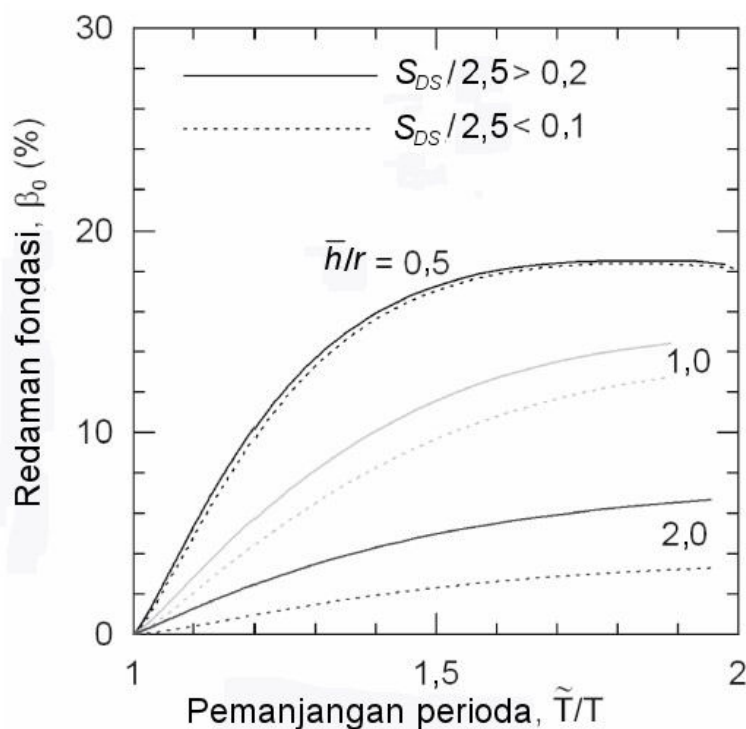
$\beta_o$  = faktor redaman fondasi seperti ditunjukkan dalam Gambar 8

Untuk nilai  $\frac{S_{DS}}{2,5}$  diantara 0,10 dan 0,20, nilai  $\beta_o$  harus ditentukan dengan interpolasi linier antara garis solid dan garis putus-putus dalam Gambar 8.

Besar  $r$  dalam Gambar 8 merupakan panjang fondasi karakteristik yang harus ditentukan sebagai berikut:

$$\text{untuk } \frac{\bar{h}}{L_o} \leq 0,5, r = r_a \tag{105}$$

$$\text{untuk } \frac{\bar{h}}{L_o} \geq 1, r = r_m \tag{106}$$



**Gambar 8 - Faktor redaman fondasi**

KETERANGAN:

$L_0$  adalah panjang keseluruhan sisi fondasi pada arah yang dianalisis;

$r_a$  dan  $r_m$  adalah panjang fondasi karakteristik seperti ditentukan dalam Persamaan 102 dan 103.

Untuk nilai  $\frac{\bar{h}}{L_0}$  yang diantara, nilai  $r$  ditentukan dengan interpolasi linier.

**PENGECEUALIAN** 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  $\beta_0$  dalam

**Persamaan 115** harus diganti dengan  $\beta'_0$  jika  $\frac{4D_s}{v_s \tilde{T}} < 1$  di mana  $D_s$  adalah kedalaman total hingga

tanah lunak.  $\beta'_0$  harus ditentukan sebagai berikut:

$$\beta'_0 = \left( \frac{4D_s}{v_s \tilde{T}} \right)^2 \beta_0 \quad (107)$$

Nilai  $\tilde{\beta}$  dihitung dengan Persamaan 104, baik dengan atau tanpa penyesuaian menurut Persamaan 107, 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:

$$\tilde{\delta}_x = \frac{\tilde{V}}{V} \left[ \frac{M_o h_x}{K_\theta} + \delta_x \right] \tag{108}$$

Keterangan:

- $M_o$  adalah momen guling pada dasar dengan menggunakan gaya gempa tidak termodifikasi dan tanpa memperhitungkan reduksi dalam desain fondasi;
- $h_x$  adalah tinggi dari dasar hingga ketinggian lantai yang ditinjau;
- $\delta_x$  adalah defleksi pada struktur dengan kondisi dasar terjepit seperti ditentukan dalam 7.8.6 dengan menggunakan gaya gempa.

Tingkat simpangan antar lantai termodifikasi dan efek P-delta harus ditinjau sesuai dengan ketentuan dalam 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 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

$$\tilde{V}_1 = V_1 - \Delta V_1 \tag{109}$$

Reduksi ( $\Delta V_1$ ) ini harus ditentukan berdasarkan Persamaan 96 dengan  $\bar{W}$  diambil sama dengan berat efektif pada perioda fundamental,  $\bar{W}$  dan  $C_s$  ditentukan berdasarkan Persamaan 21, tetapi  $S_{DS}$  harus diganti dengan respons spektra percepatan dari spektra respons desain pada perioda fundamental struktur yang dasarnya terjepit ( $T_1$ ).

Perioda  $\tilde{T}$  ditentukan dari Persamaan 98 atau dari Persamaan 100 yang sesuai, dengan menggunakan  $T = T_1$ , dan menghitung  $\bar{k}$  berdasarkan Persamaan 99 dengan mengganti  $\bar{W}$  menjadi  $\bar{W}_1$  dan selanjutnya menghitung  $\bar{h}$  sebagai berikut:



$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \varphi_{i1} h_i}{\sum_{i=1}^n w_i \varphi_{i1}} \quad (110)$$

Keterangan:

$w_i$  = bagian beban gravitasi total dari struktur pada lantai ke- $i$

$\varphi_{i1}$  = 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  $\alpha$  dari Persamaan 101 dan faktor  $\beta_0$  dari Gambar 8. 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:

$$\tilde{\delta}_{x1} = \frac{\tilde{V}_1}{V_1} \left[ \frac{M_{01} h_x}{K_\theta} + \delta_{x1} \right] \quad (111)$$

dan

$$\tilde{\delta}_{xm} = \delta_{xm} \text{ untuk } m = 2, 3, \dots$$

**Keterangan:**

$M_{01}$  = momen guling dasar untuk ragam fundamental dari struktur yang dasarnya terjepit dengan menggunakan beban geser dasar tidak termodifikasi  $V_1$ .

$\delta_{xm}$  = 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 desain

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 desain 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 7.8.4 dan pengaruh P-delta harus dihitung sesuai dengan ketentuan dalam 7.8.7 menggunakan gaya geser lantai dan simpangan antar lantai yang ditentukan dalam 13.3.2.

### 13.4 Interaksi tanah dan struktur untuk perencanaan bangunan tahan gempa

Penggunaan ketentuan ini akan menurunkan nilai desain 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-delta.

Sebuah faktor pengali ( $\alpha_\theta$ ) dimasukkan dalam perumusan kekakuan rotasi ( $K_\theta$ ). 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  $\alpha_\theta$ .

Dalam perhitungan impedansi  $K_y$  dan  $K_\theta$ , 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  $0,7r_a$  tepat untuk kekakuan translasi, dan  $0,75r_m$  tepat untuk kekakuan rotasi.

Definisi  $K_y$  dan  $K_\theta$  tidak lagi menggunakan istilah statis karena pengaruh dinamis akan diperhitungkan kemudian untuk  $K_\theta$ .

## 14 Peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko

Pasal ini memberikan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake, MCE*) yang ditunjukkan pada Gambar 9 sampai 13, yang diperlukan untuk menerapkan ketentuan-ketentuan beban gempa dalam standar ini.

Gambar 9 dan 10 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) parameter-parameter gerak tanah  $S_s$  dan  $S_1$ , kelas situs SB.  $S_s$  adalah

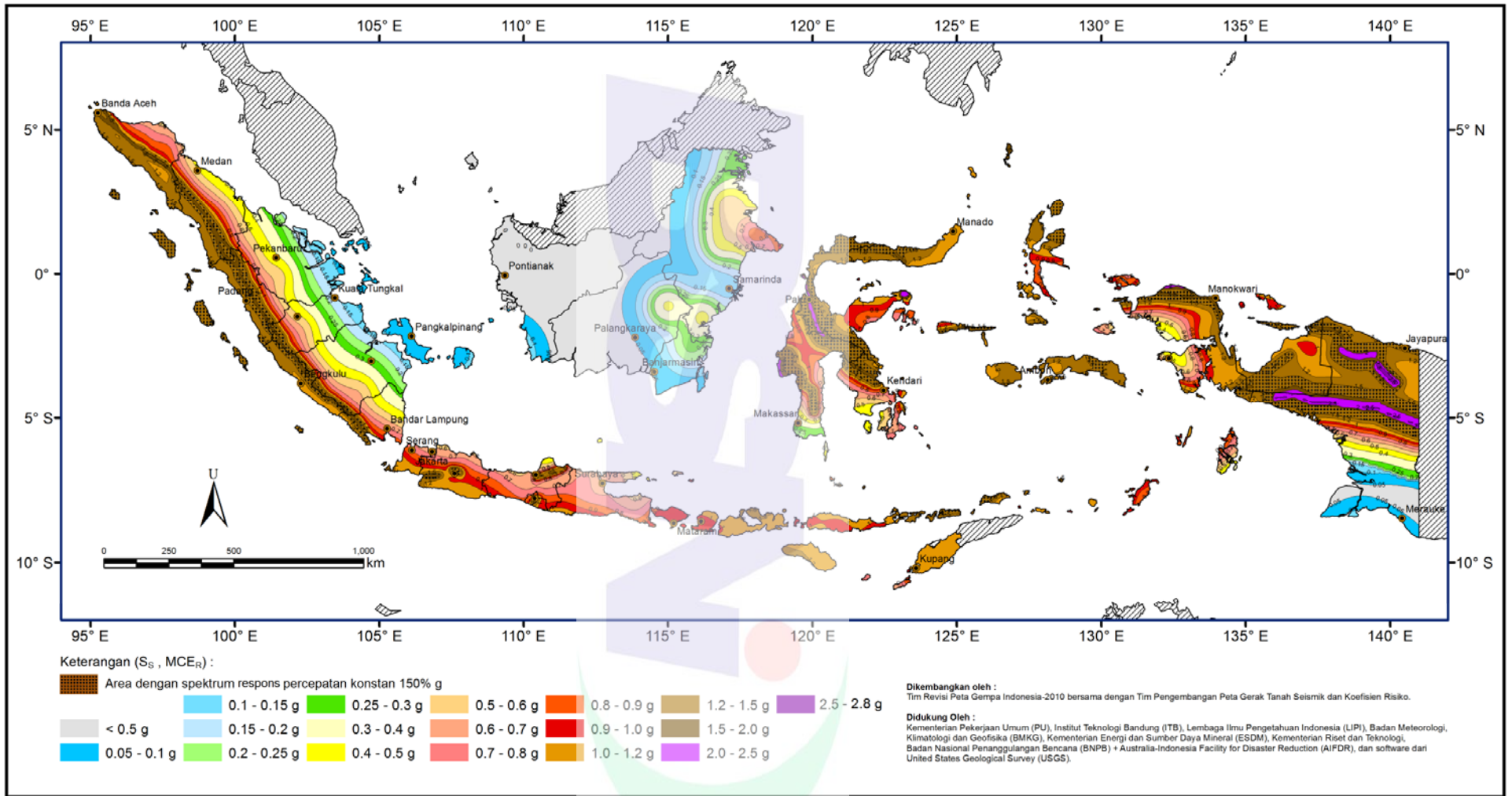
parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode pendek, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan dalam 6.1.1.  $S_1$  adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode 1 detik, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan dalam 6.1.1.

Gambar 12 dan 13 menunjukkan nilai-nilai  $C_{RS}$  dan  $C_{R1}$ .  $C_{RS}$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode pendek yang digunakan dalam 6.10.2.1.  $C_{R1}$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode 1 detik yang digunakan dalam 6.10.2.1.

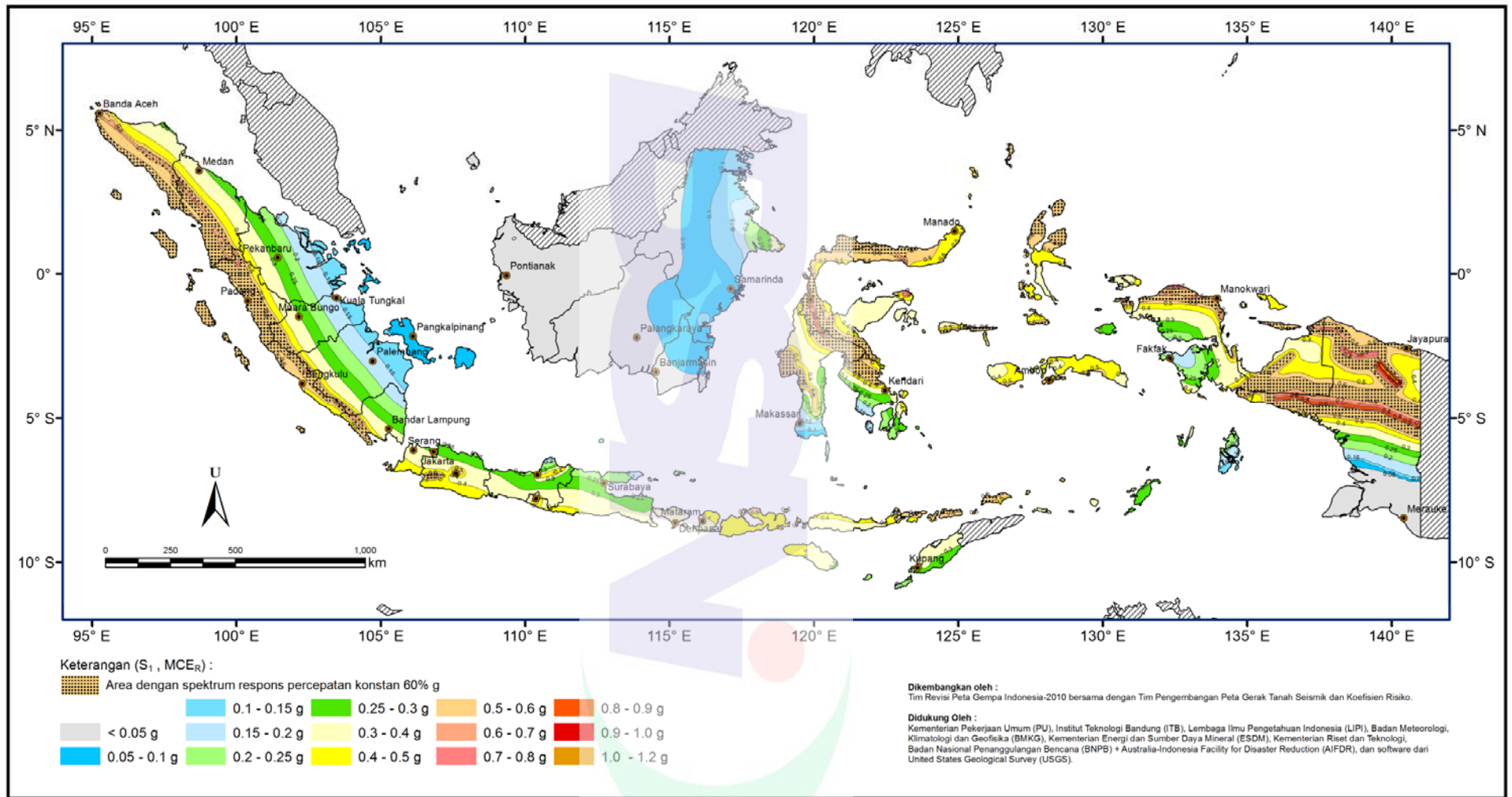
Pada pasal ini juga diberikan Gambar 11, yang menyajikan gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik ( $MCE_G$ ), percepatan tanah puncak, dalam  $g$ , kelas situs  $SB$ .

Nilai-nilai kontur percepatan puncak dijelaskan sebagai berikut:

- a) 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-tertarget didefinisikan sebagai nilai spektral  $S_s$  dan  $S_1$  MCE 2 persen kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun dikalikan dengan koefisien risiko, masing-masing  $C_{RS}$  dan  $C_{R1}$  (sesuai Gambar 12 dan Gambar 13).
- b) 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;
- c) Batas atas deterministik digunakan pada daerah dekat sesar aktif dengan mengambil faktor pengali 1,5 kali dari nilai tengah percepatan puncak hasil analisis bahaya gempa deterministik (faktor 1,5 kali nilai median digunakan untuk merepresentasikan respons 84<sup>th</sup> percentile), dan nilai spektral tidak kurang 1,5  $g$  untuk periode 0,2 detik dan tidak kurang dari 0,6  $g$  untuk periode 1 detik.

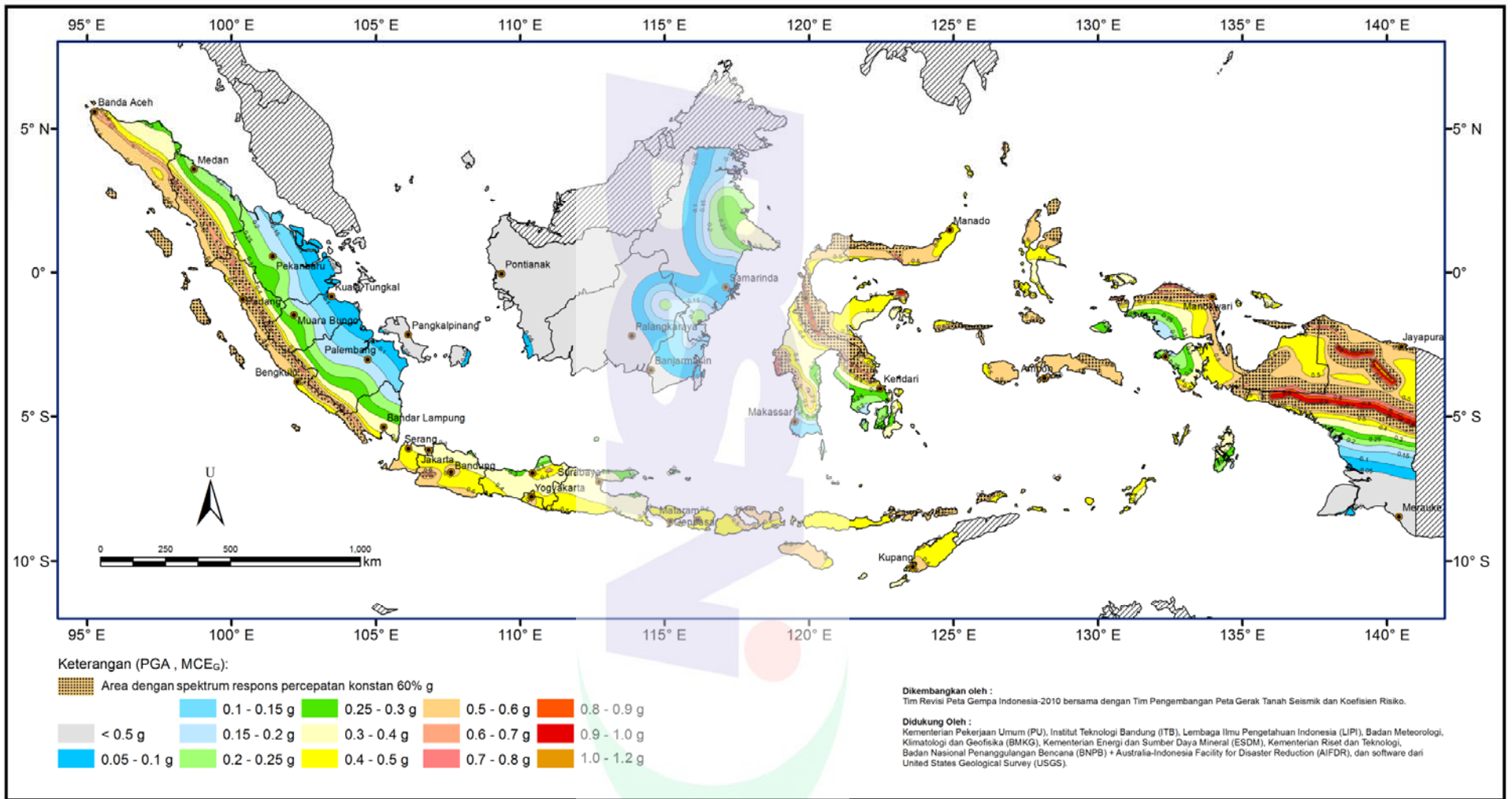


Gambar 9 -  $S_s$ , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget( $MCE_R$ ), kelas situs SB



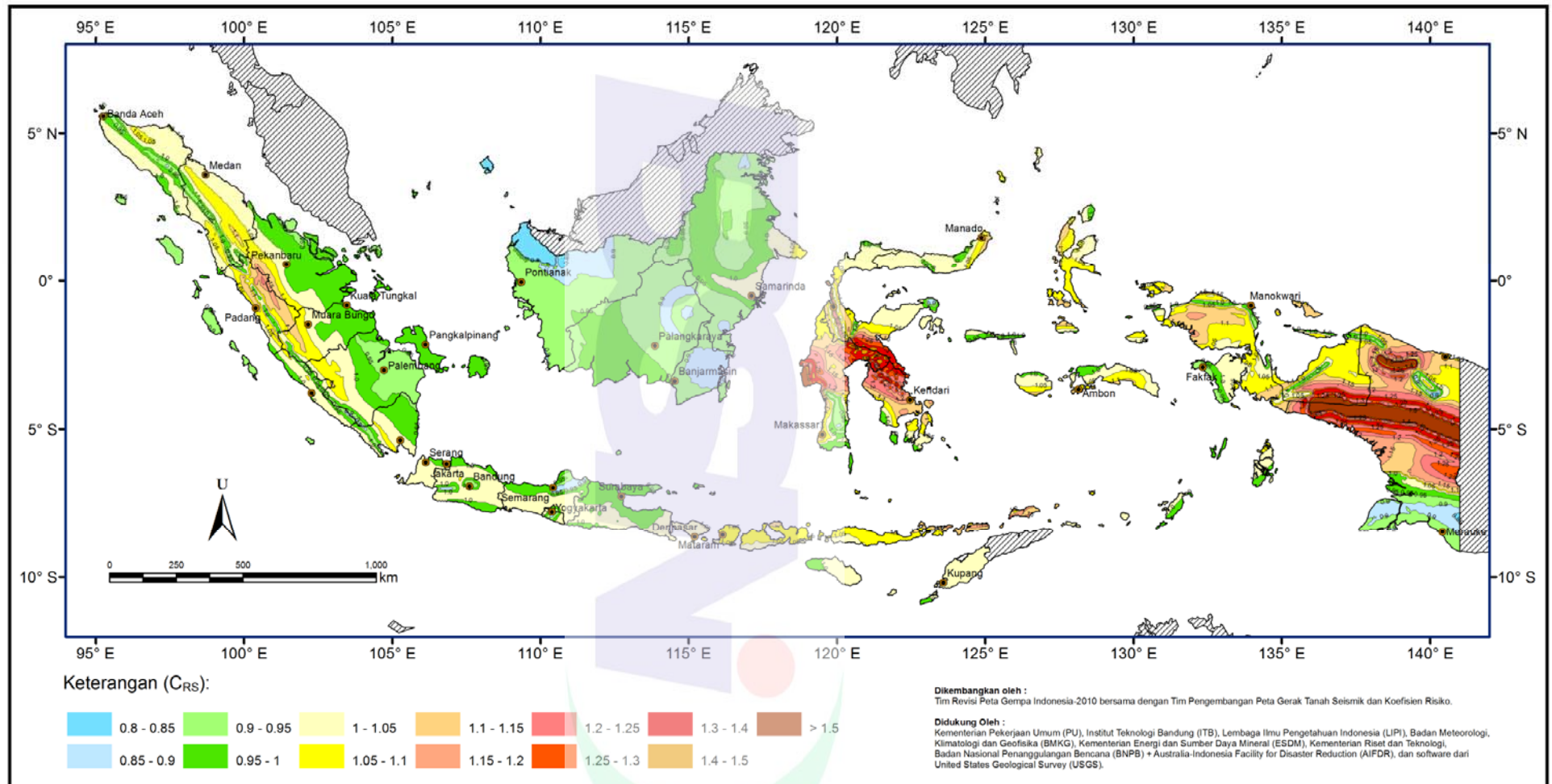
**Gambar 10 -  $S_1$ , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget( $MCE_R$ ), kelas situs  $SB$**



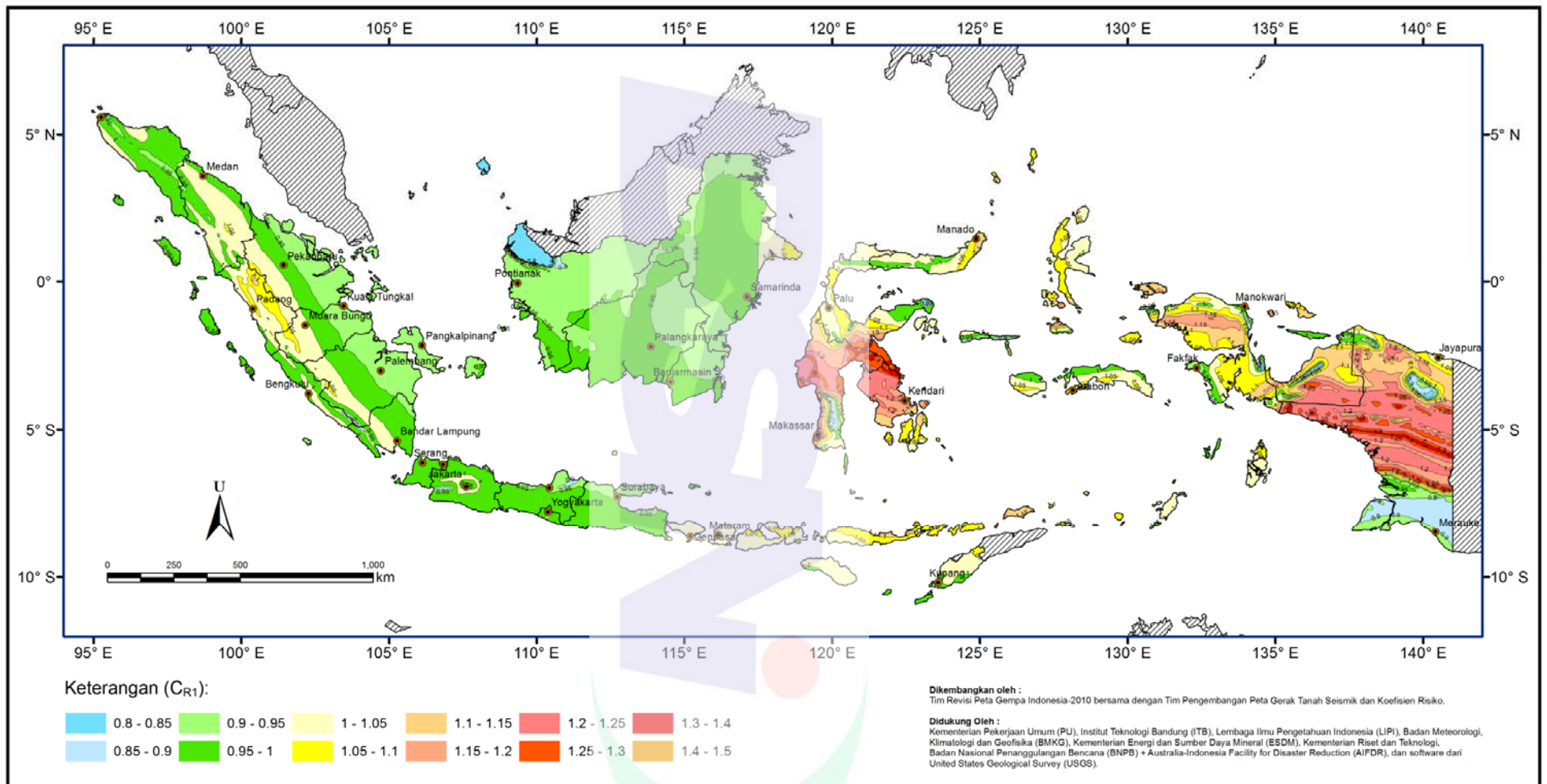


Gambar 11 - PGA, Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik ( $MCE_G$ ), kelas situs SB





Gambar 12 -  $C_{RS}$ , Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 0,2 detik



Gambar13 - $C_{R1}$ , Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik





**BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN**  
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3,4,7,10  
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270  
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : [bsn@bsn.go.id](mailto:bsn@bsn.go.id)