

Dinamika dan Rekayasa Gempa

**PERANCANGAN GEMPA BERDASARKAN
PERUNTUKAN INFRA STRUKTUR**

Dosen: Dr. Ir. Nurly Gofar, MSCE.

SNI 1726
2019
dan
SNI 8460
2017

- SNI 1726 2019:
 - Merujuk ASCE 7-16
 - Berbasis kinerja (*performance based*) peluang kegagalan bersyarat dan kekuatan (*strength based*).
 - Menggunakan MCE_R dan MCE_G 2500 tahun
 - Menggunakan Peta Gempa 2017.
- SNI 8460 2017
 - Merujuk ASCE 7-10, AASHTO 2012, FHWA, ICOLD, SNI 1726 2012, SNI 2833 2008 dll.
 - *Performance based* dan *strength based*
 - Menggunakan Periode Ulang 1000, 2500 dan 10000 tahun

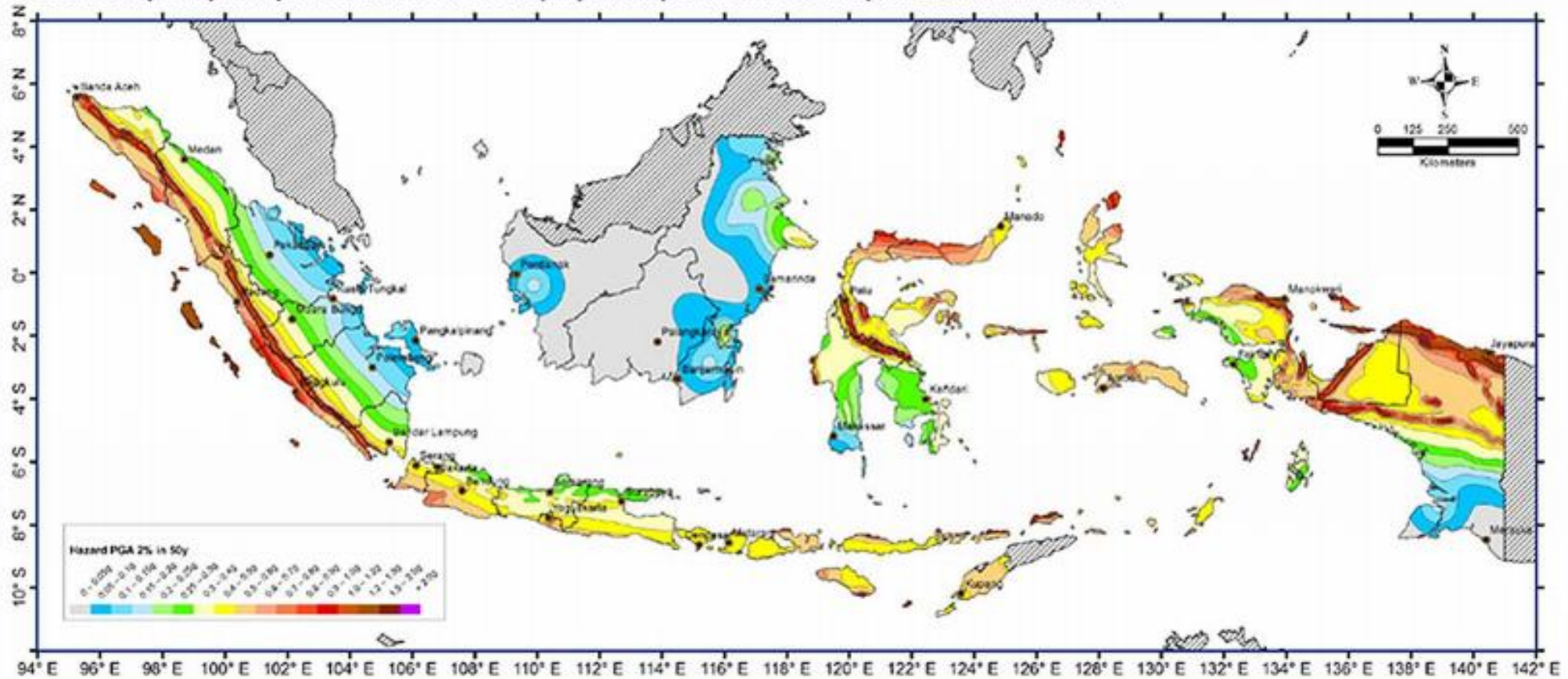
Kriteria Kinerja (*Performance Criteria*)

- SNI 1726 2019
 - Peluang kegagalan bersyarat akibat MCE_R : 10, 5 dan 2.5% untuk Kategori Risiko I, II, III dan IV (1.2)
(Lihat Tabel 1 dan Tabel 2)
 - Pengaruh Kegempaan dan Kategori Risiko \longrightarrow Kategori Desain A, B, C, D, E dan F (6.5, 6.6, 6.7)
 - Berbasis kekuatan dan deformasi (C_d)
- SNI 8460 2017 (Tabel 52 untuk gempa)
 - Berbasis kekuatan (SF) dan kemampuan (*non linier*) (9.3.2)
 - Kinerja (sesuai dengan struktur bangunan, jembatan, bendung, terowongan dsb) terhadap *service loads*.

SNI 8460 2017 – Tabel 52

Peruntukan	Umur Rencana (tahun)	Prob. Terlampaui (%)	Periode Ulang (tahun)	Kriteria Keamanan	Referensi
Gedung & Non Gedung	50	2	2500	Peluang Kegagalan, Kategori Risiko dan Kategori Desain	SNI 1726 2019
Jembatan Konvensional	75	7	1000		SNI 2833 AASHTO 2012
Dinding Penahan Abutment Jembatan	75	7	1000	Statik: Geser $FK > 1.5$; Guling $FK > 2$ Pseudostatik: $FK > 1.1$	WSDOT FHWA 2005
Timbunan Oprit				$FK > 1.1$	
Bendungan	100	1	10000 (<i>Safety Evaluation Earthquake</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Tidak terjadi aliran air yang tak terkendali Deformasi ≤ 0.5 tinggi jagaan Deformasi ≤ 0.5 tebal filter Spillway tetap berfungsi pasca gempa 	ICOLD No. 148 2016
	100	50	145 (<i>Operating Basis Earthquake</i>)	Kerusakan minor pasca gempa	
Bangunan Pelengkap Bendungan	50	2	2500		
Terowongan	100	10	1000		

D10: Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Peta Gempa 2017

<http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/>

Faktor keutamaan dan Kategori resiko bangunan Gedung dan non-Gedung untuk beban gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Kategori resiko bangunan Gedung dan non-Gedung untuk beban gempa

<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none">- Bioskop- Gedung pertemuan- Stadion- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat- Fasilitas penitipan anak- Penjara- Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, 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">- Pusat pembangkit listrik biasa- Fasilitas penanganan air- Fasilitas penanganan limbah- Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung 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
---	-----

Kategori resiko bangunan Gedung dan non-Gedung untuk beban gempa

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

Kombinasi beban dan pengaruh beban gempa (SNI 1726-2019) untuk metode Ultimit

1. $1,4D$
2. $1,2D+1,6L+0,5(L_v \text{ atau } R)$
3. $1,2D+1,6(L_v \text{ atau } R)+(L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D+1,0W+L+0,5(L_v \text{ atau } R)$
5. $0,9D+1,0W$
6. $1,2D+E_v+E_h+L$
7. $0,9D- E_v+E_h$
8. $1,2D+ E_v+E_{mh}+L$
9. $0,9D- E_v+E_{mh}$

U = Kuat Ultimit

D = beban mati

L = beban hidup

L_v = beban hidup pada atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

E_h = pengaruh gaya seismik horizontal

E_{mh} = pengaruh gaya seismik horizontal

E_v = pengaruh gaya sesimik vertikal

Kombinasi beban dan pengaruh beban gempa (SNI 1726-2019) untuk metode Tegangan izin

1. D
2. D+L
3. D+(L_v atau R)
4. D+0,75(L_v atau R)
5. D+0,6W
6. D+0,75W+0,75L+0,75(L_v atau R)
7. 0,6D+0,6W
8. 1,0D+ 0,7E_v +0,7E_h
9. 1,0D+ 0,525E_v +0,525E_h+0,75L
10. 0,6D- 0,7E_v +0,7E_h

Untuk No 8-10, E_h diganti dengan E_{mh} bila pengaruh beban seismic dengan kuat lebih yang ditinjau

U = Kuat Ultimit

D = beban mati

L = beban hidup

L_v = beban hidup pada atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

E_h = pengaruh gaya seismik horizontal

E_{mh} = pengaruh gaya seismik horizontal

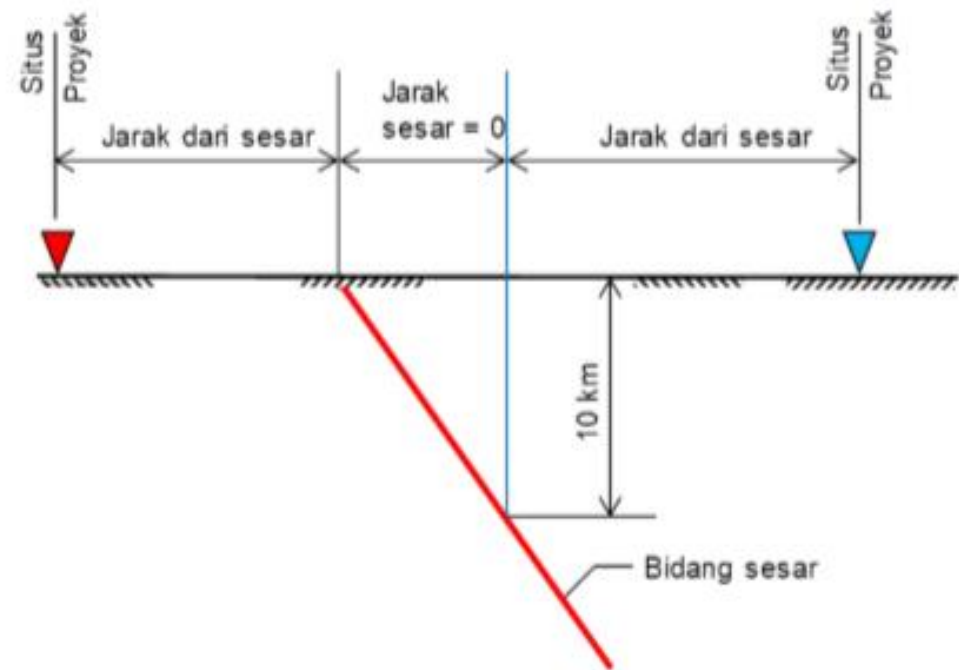
E_v = pengaruh gaya seismik vertikal

Tabel 5 – Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{60}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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

Catatan: Kelas SA dan SB adalah batuan, Penetapan kelas situs SC, SD, SE harus dilakukan berdasar 2 dari 3 cara pengukuran terhadap lapisan 30m paling atas yaitu : metode V_s (shear wave velocity), metode N (SPT) dan s_u (undrained shear strength). Bila dua kriteria memberikan hasil yang berbeda maka digunakan kriteria terburuk. Untuk kelas SF adalah untuk tanah yang berpotensi gagal atau runtuh seperti tanah gambut, tanah lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah, lempung dengan plastisitas sangat tinggi



Gambar 2 – Jarak patahan untuk berbagai lokasi situs proyek

Situs yang memenuhi salah satu kondisi berikut ini harus dikategorikan dekat sesar:

1. Berjarak 15 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 7 atau lebih besar, atau
2. Berjarak 10 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 6 atau lebih besar.

Parameter percepatan gempa

- Setelah mengetahui klasifikasi situs dan mengetahui letak lokasi bangunan, langkah berikutnya adalah mengetahui parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Kedua parameter ini bisa diambil dari peta gempa SNI 1726-2019.
- langkah berikutnya adalah menghitung koefisien atau parameter percepatan gempa berdasarkan klas situs terdahulu dan nilai dari peta gempa supaya bisa didapatkan respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).

Parameter percepatan gempa

- Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi sesimik pada perioda 0,2 dan 1 detik.
- Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada 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, dapat ditentukan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

- Parameter percepatan spectral disain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_T					
	$S_T \leq 0,25$	$S_T = 0,5$	$S_T = 0,75$	$S_T = 1,0$	$S_T = 1,25$	$S_T \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

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 3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (11)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (12)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

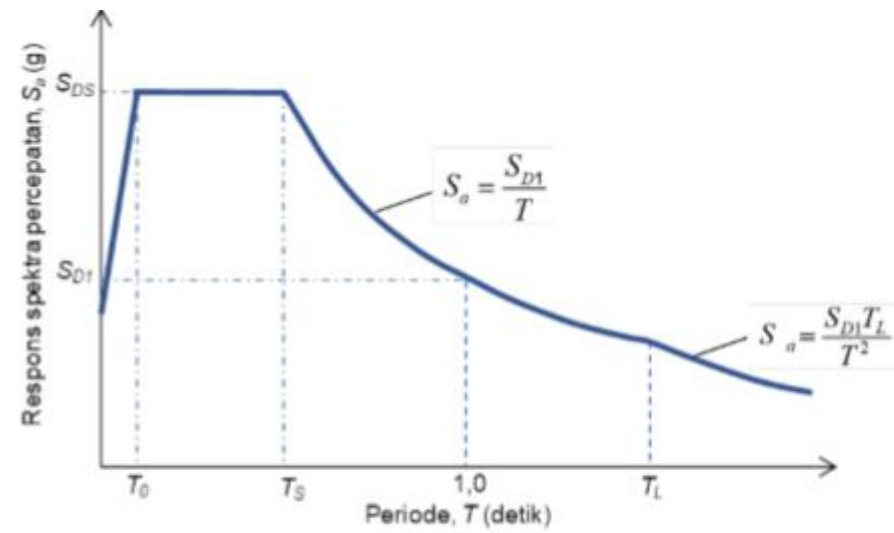
$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (13)$$

Keterangan:

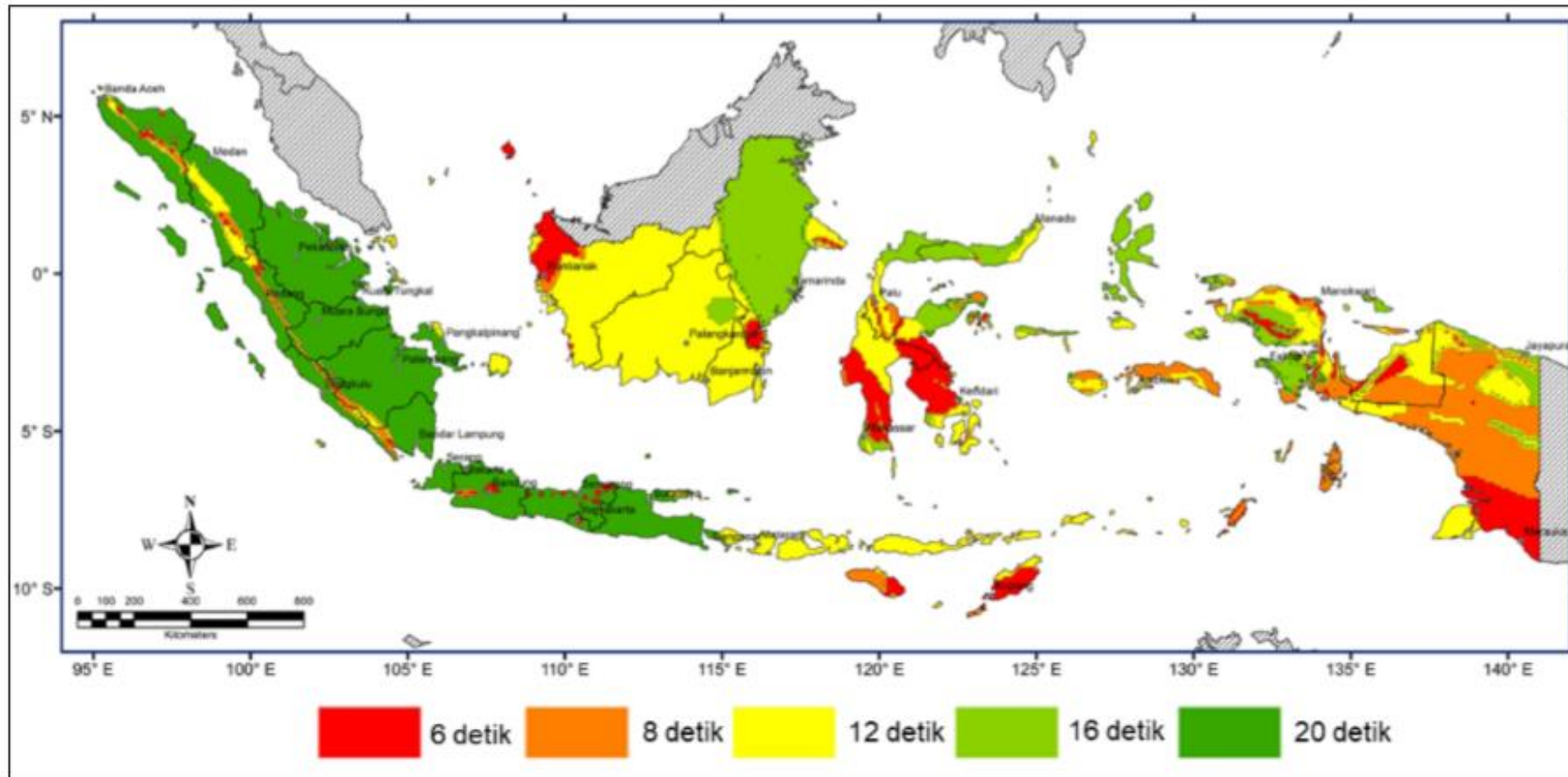
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;
 S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;
 T = periode getar fundamental struktur.

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

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



Gambar 3 – Spektrum respons desain



Gambar 20 – Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia

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 periode 1 detik, S_I , 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 periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 8 dan Tabel 9, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 8 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan 0;
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s ;
3. Persamaan (31) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s ;
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada pasal 0, kategori desain seismik diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 8, dengan menggunakan nilai S_{DS} yang ditentukan dalam 0.

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 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 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	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

12	Kegempaan.....	263
12.1	Ruang lingkup kegempaan	263
12.2	Persyaratan teknis perancangan kegempaan.....	263
12.2.1	Persyaratan ketahanan gempa	263
12.2.2	Persyaratan spektrum respons desain.....	266
12.2.3	Persyaratan spektrum respons desain berdasarkan evaluasi spesifik-situs	273
12.2.4	Persyaratan desain gempa pada fondasi.....	275
12.2.5	Persyaratan gempa untuk dinding penahan	277
12.2.6	Persyaratan gempa untuk bendungan	278
12.2.7	Persyaratan gempa untuk lereng	278
12.2.8	Persyaratan gempa untuk struktur tertanam (<i>buried structure</i>).....	279

Persyaratan perancangan geoteknik

Further Reading

SNI 1726-2019 Tatacara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan non Gedung

SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

SNI 8640-2017 Persyaratan perancangan Geoteknik hal 263 - 279