

DINAMIKA DAN REKAYASA GEMPA

PERANCANGAN GEMPA BERDASARKAN

PERUNTUKAN INFRA STRUKTUR

Dosen: Dr. Ir. Nurly Gofar, MSCE.

Tabel 52 – Kriteria perancangan gempa berdasarkan peruntukan infrastruktur

| Peruntukan | Umur rencana (tahun) | Probabilitas terlampaui (%) | Periode ulang (tahun) | Kriteria keamanan | Referensi |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|-------------------------|
| Bangunan gedung dan non-gedung | 50 | 2 | 2.500 | - | SNI 1726-2017 |
| Jembatan konvensional | 75 | 7 | 1.000 | - | SNI 2833-2016 |
| Dinding penahan Abutmen Jembatan | 75 | 7 | 1.000 | FK>1,5 (terhadap geser saat mengalami beban statik) FK>2 (terhadap guling saat mengalami beban statik) FK>1,1 (terhadap beban pseudostatik) | WSDOT, FHWA-NJ-2005-002 |
| Timbunan oprit | | | | FK>1,1 | |
| Bendungan | 100 | 1 | 10.000, <i>Safety Evaluation Earthquake (SEE)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Tidak terjadi aliran air yang tidak terkendali • Deformasi tidak melebihi 0,5 dari tinggi jagaan • Deformasi pada filter tidak boleh melebihi 0,5 tebal filter • <i>Spillway</i> tetap berfungsi setelah terjadi gempa rencana Kerusakan minor setelah terjadi gempa rencana | ICOLD No 148, 2016, |
| | 100 | 50 | 145 <i>Operating Basis Earthquake (OBE)</i> | | |
| Bangunan pelengkap bendungan | 50 | 2 | 2500 | - | |
| Terowongan | 100 | 10 | 1.000 tahun | | |

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. | $1,4D$ | U = Kuat Ultimit |
| 2. | $1,2D+1,6L+0,5(L_v \text{ atau } R)$ | D = beban mati |
| 3. | $1,2D+1,6(L_v \text{ atau } R)+(L \text{ atau } 0,5W)$ | L = beban hidup |
| 4. | $1,2D+1,0W+L+0,5(L_v \text{ atau } R)$ | L_v = beban hidup pada atap |
| 5. | $0,9D+1,0W$ | R = beban hujan |
| 6. | $1,2D+E_v+E_h+L$ | W = beban angin |
| 7. | $0,9D- E_v +E_h$ | E = beban gempa |
| 8. | $1,2D+ E_v +E_{mh}+L$ | E_h = pengaruh gaya seismik horizontal |
| 9. | $0,9D- E_v +E_{mh}$ | 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 | U = Kuat Ultimit |
| 2. | D+L | D = beban mati |
| 3. | D+(L _v atau R) | L = beban hidup |
| 4. | D+0,75(L _v atau R) | L _v = beban hidup pada atap |
| 5. | D+0,6W | R = beban hujan |
| 6. | D+0,75W+0,75L+0,75(L _v atau R) | W = beban angin |
| 7. | 0,6D+0,6W | E = beban gempa |
| 8. | 1,0D+ 0,7E _v +0,7E _h | E _h = pengaruh gaya seismik horizontal |
| 9. | 1,0D+ 0,525E _v +0,525E _h +0,75L | E _{mh} = pengaruh gaya seismik horizontal |
| 10. | 0,6D- 0,7E _v +0,7E _h | E _v = pengaruh gaya sesimik vertikal |

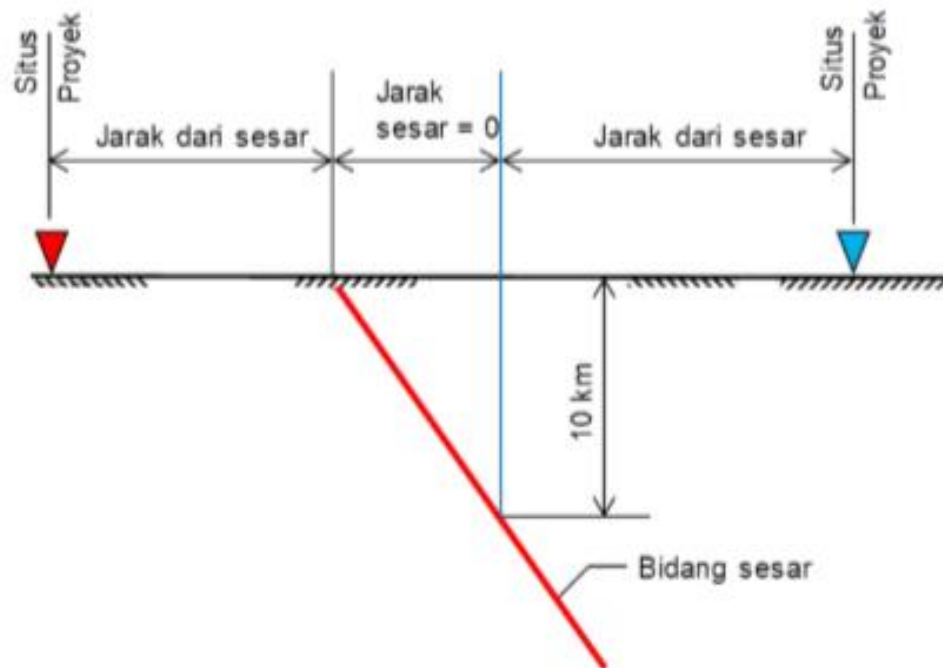
Untuk No 8-10, E_h diganti dengan E_{mh} bila pengauruh beban seismic dengan kuat lebih yang ditinjau

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:

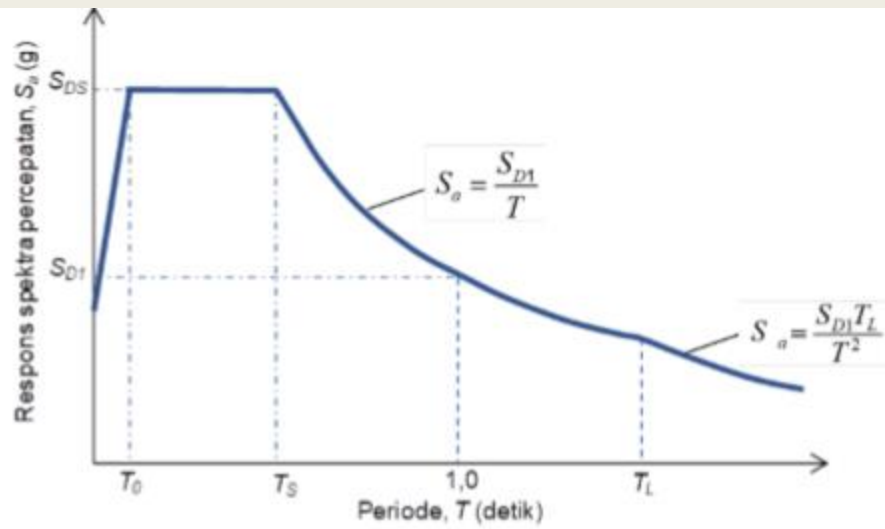
$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (13)$$

Keterangan:

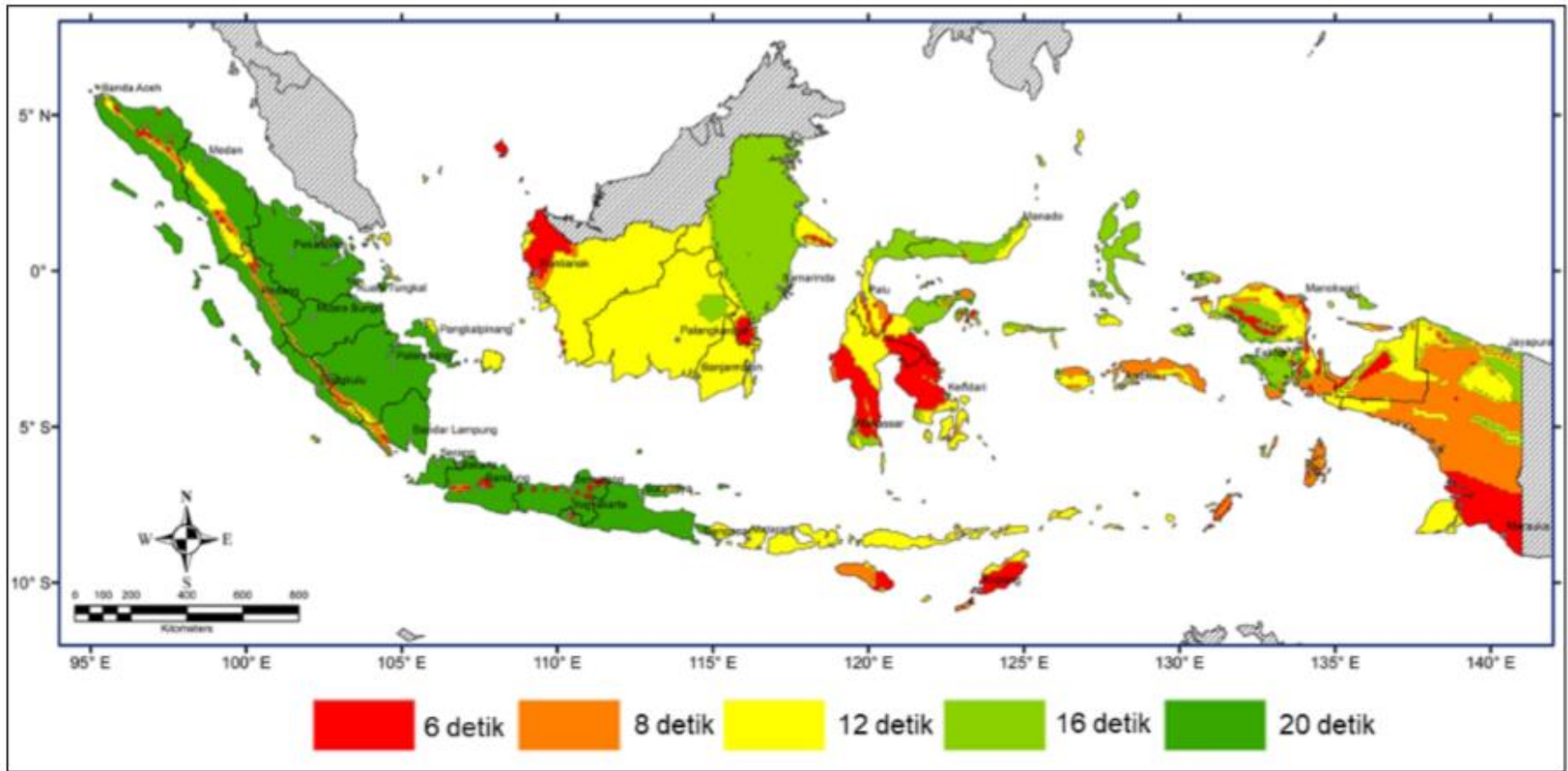
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;
 S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;
 T = periode getar fundamental struktur.

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

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



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 |

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