

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 2002

Suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi, sehingga respons dinamikanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen.

3.2 Ketentuan Umum

1. Gempa rencana dan kategori gedung
 - a. Standar ini menentukan pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perancangan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh Gempa Rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Gempa Rencana ditetapkan mempunyai perioda ulang 500 tahun, agar probabilitasnya terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.
 - b. Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitasnya terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan. Pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor dengan suatu Faktor Keutamaan 1 menurut persamaan :

$$I = I_1 I_2 \quad (3.1)$$

Di mana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadi gempa itu selama umur gedung. Sedangkan I_2 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan

periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Faktor-faktor Keutamaan I_1 , I_2 dan I ditetapkan menurut tabel di bawah ini

Tabel 3.1 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

| Kategori gedung | Faktor Keutamaan | | |
|--|------------------|-------|-----|
| | I_1 | I_2 | I |
| Gedung umum seperti untuk hunian, perniagaan dan perkantoran | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Monumen dan bangunan monumental | 1,0 | 1,2 | 1,6 |
| Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat peyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi | 1,4 | 1,6 | 1,4 |
| Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas beracun, produk minyak bumi asam, bahan beracun | 1,6 | 1,0 | 1,6 |
| Cerobong, tangki diatas menara | 1,6 | 1,0 | 1,5 |

Catatan: Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya standar ini maka Faktor Keutamaan, I , dapat dikalikan 80%.

2. Struktur gedung beraturan dan tidak beraturan

a. Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut

- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40m.
- Denah truktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah truktur gedung dalam arah tonjolan tersebut
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsitem penambahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dai ukuran terbesar denah denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal inim struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka
- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateral adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan

kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan suatu satuan simpangan antar-tingkat.

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

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis stang ekuivalen.

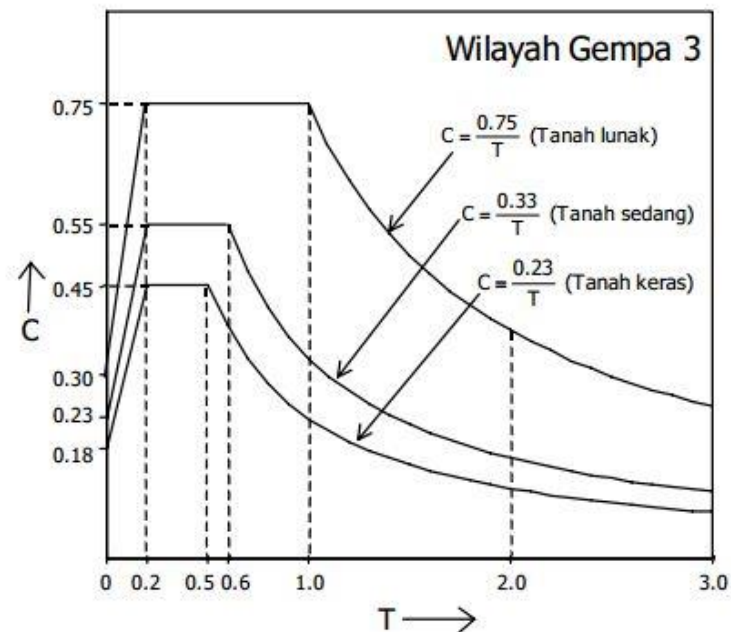
b. Beban gempa nominal statik ekuivalen

- Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban nominal statik ekuivalen, yang ditetapkan lebih lanjut dalam pasal-pasal berikut
- Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan I menurut tabel 1 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi gempa R dan waktu getar alami fundamental T_1 maka beban geser dasar nominal

statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan 3.2 berikut ini.

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.2)$$

Dimana C_1 adalah nilai faktor respons gempa yang didaoot dari spektrum respons gempa rencana menurut Gambar 2 (SNI 1726 2002) untuk waktu getar alami fundamental T_1 , sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.



Gambar 3.1 Respons Spektrum Gempa Rencana Wilayah 3

- Bahan geser nominal V menurut pasal b. Harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (3.3)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup yang sesuai, z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf

penjepitan lateral menurut pasal 5.1.2 (SNI 1726 2002) dan pasal 5.1.3 (SNI 1726 2002), sedangkan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.

- Apabila resiko antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam aral pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0,1 V$ hams dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0,9 V$ sisanya hams dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut Pasal 6.1.3 (SNI 1726 2002)
- Pada tangki di atas menara, beban gempa nominal statik ekuivalen sebesar V hams dianggap bekerja pada titik berat massa seluruh struktur menara dan tangki berikut isinya.

c. Waktu getar alami fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n menurut persamaan:

$$T_1 < \zeta n \quad (3.4)$$

Dimana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 3.2

Tabel 3.2 Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami Fundamental Struktur gedung

| Wilayah Gempa | ζ |
|---------------|---------|
| 1 | 0,20 |
| 2 | 0,19 |
| 3 | 0,18 |
| 4 | 0,17 |
| 5 | 0,16 |
| 6 | 0,15 |

3.3 Metode Pemindahan Koefisien (FEMA 306)

Metode pemindahan koefisien mengacu pada pada prosedur statik nonlinier yang di jelaskan dalam bab 3 dari FEMA 273. Metode ini juga dijelaskan pada bagian 8.2.2.2 dari ATC 40. Para pembaca mengacu pada dokumen tersebut untuk detail pada prosedur pengaplikasian. Gambaran umum dan diskripsi dari metode aplikasi untuk bangunan yang rusak ditampilkan sebagai berikut.

Metode pemindahan koefisien memperkirakan perpindahan gempa untuk bangunan yang menggunakan respon spektrum linear-elastis. Respon spektrum diplotkan untuk menetapkan nilai dari ekuivalen damping, dan percepatan respon spektral, S_a , ialah membaca dari spektrum untuk jangka waktu yang sama dengan periode efektif, T_e .

3.4 Analisis Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 2012

1. Geser dasar seismik

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

$$V = C_s W \quad (3.5)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2. Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respon seismik, C_s , harus ditentukan dengan persamaan 3.5

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.6)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.5 tidak perlu melebihi berikut ini

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.7)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3.8)$$

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

$$C_s = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.9)$$

Keterangan:

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan perhitungan koefisien seismik dan

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

3. Distribusi vertikal gaya gempa

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

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.10)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.11)$$

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 0,5 detik atau kurang,
 $k = 1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 atau lebih,
 $k = 2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,
 k harus sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

4. Distribusi horisontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa disemua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

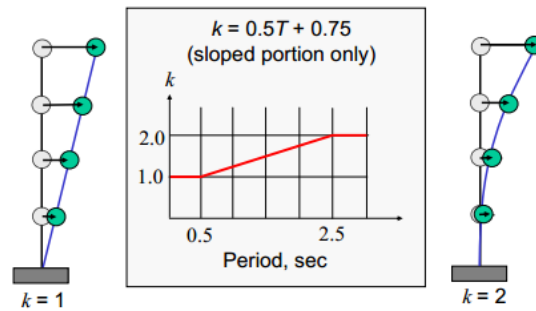
$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.12)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i , dinyatakan dalam kilonewton (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 diafragma.

k Accounts for Higher Mode Effects



Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples

MDOF Dynamics 4 - 122

Sumber : *FEMA 451B*, 2007

Gambar 3.2 Interpolasi nilai K