

ARSITEKTUR TAHAN GEMPA

Disusun oleh :

Purwanto Maengga¹⁾, J. Van Rate²⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi Arsitektur Unsrat

²⁾ Staf Pengajar Prodi Arsitektur Unsrat

ABSTRAK

Gempa merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kapan datang dan bagaimana akibat yang ditimbulkan serta seberapa besar kerusakan yang mungkin terjadi. Dari segi geografis, Indonesia sangat berpotensi terjadinya gempa yang berkelanjutan, baik dari skala besar maupun kecil. Konstruksi bangunan yang tidak cukup kuat untuk menghadapi kekuatan gempa merupakan salah satu penyebab banyaknya korban yang berjatuhan.

Ruang lingkup analisis bangunan tahan gempa meliputi analisis respon struktur baik dinamik maupun statik ekuivalen akibat percepatan gempa bumi yang ditransfer kepada bangunan melalui pondasi ke struktur bangunan atas. Keruntuhan tanah akibat patahan, longsor, atau liquifaksi untuk tanah pasir yang menyebabkan keruntuhan struktur bangunan, tidak termasuk dalam ruang lingkup struktur bangunan tahan gempa.

Selain memilih bahan bangunan yang berkualitas, dalam perencanaan haruslah memperhatikan prinsip-prinsip perencanaan tahan gempa yaitu : Daktilitas, konfigurasi bangunan, diafragma dan ikatan lantai, hubungan dinding antar lantai dan atap, hubungan antar pondasi, bobot yang ringan, kekuatan yang relatif di segala arah, serta ketahanan terhadap kebakaran.

Kata Kunci : Gempa, Respon, Bangunan

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah guncangan yang disebabkan oleh pergeseran dan pecahnya batuan di bawah permukaan bumi. Sampai saat ini gempa bumi menjadi fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi, akan tetapi kita bisa mengambil tindakan pencegahan untuk meminimalkan efeknya.

Kebanyakan gempa bumi terjadi dimana adanya pertemuan lempeng sehingga menyebabkan guncangan dan akibat dari guncangan ini yaitu dapat meruntuhkan

bangunan dan jembatan, mengganggu layanan listrik dan telepon, terjadinya tanah longsor dan bahkan sampai mengakibatkan terjadinya *tsunami*.

Ketika gempa terjadi di daerah penduduk, dapat menyebabkan kematian dan luka-luka karena tertimpah dengan reruntuhan bangunan serta kerusakan lingkungan yang besar. Hal ini membuat kita berpikir bahwa sebenarnya Gempa tidak membunuh manusia akan tetapi bangunanlah yang melakukannya.

Respon dinamik bangunan terhadap gerakan tanah merupakan penyebab paling penting dari kerusakan akibat gempa pada bangunan. Kerusakan pada bangunan tergantung bukan pada perpindahan tetapi pada saat akselerasi. Perpindahan adalah jarak yang sebenarnya antara tanah dan bangunan dapat bergerak selama gempa bumi, sedangkan percepatan adalah ukuran dari seberapa cepat mereka mengubah kecepatan saat bergerak. Pendekatan konvensional untuk merancang bangunan tahan gempa tergantung pada perancangan bangunan dengan kekuatan, kekakuan dan kapasitas deformasi inelastik yang besar untuk menahan gaya gempa yang dihasilkan pada tingkat tertentu.

Hal ini dapat dicapai melalui

dan penempatan elemen struktural yang tepat seperti; balok dan kolom serta hubungan-nya. Sebaliknya, kita dapat mengatakan bahwa pendekatan dasar yang mendasari teknik yang lebih maju untuk perancangan tahan gempa bukanlah untuk membangun kekuatan, tetapi untuk mengurangi gaya gempa yang dihasilkan.

2. PEMBAHASAN

2.1 Jenis Tanah dan Perambatan Gelombang Gempa

Jenis tanah ditetapkan sebagai Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam Tabel di bawah ini.

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, \bar{v}_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata \bar{N}	Kuat geser niralir rata-rata \bar{S}_u (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s > 350$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u > 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

seleksi dari konfigurasi struktur yang baik

Tabel. Jenis-jenis Tanah

Dalam tabel ini v_s , N dan S_u adalah nilai rata-rata berbobot besaran itu dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya yang harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / v_{si}}$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / N_i}$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i / S_{ui}}$$

di mana t_i adalah tebal lapisan tanah ke- i , v_{si} adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke- i , N_i nilai hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah ke- i , S_{ui} adalah kuat geser niralir lapisan tanah ke- i dan m adalah jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar PI adalah Indeks Plastisitas tanah lempung, w_n adalah kadar air alami tanah dan S_u adalah kuat geser niralir lapisan tanah yang ditinjau.

Yang dimaksud dengan jenis Tanah Khusus dalam Tabel adalah jenis tanah yang tidak memenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel tersebut yaitu tanah yang memiliki potensi likuifaksi tinggi, lempung sangat peka, pasir yang tersementasi rendah yang rapuh, tanah gambut, tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi dengan ketebalan lebih dari 3 m, lempung sangat lunak dengan PI lebih dari 75 dan ketebalan lebih dari 10 m, lapisan lempung dengan $25 \text{ kPa} < S_u < 50 \text{ kPa}$ dan ketebalan lebih dari 30 m. Untuk jenis Tanah Khusus percepatan puncak muka tanah harus ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa.

2.2 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan dalam Gambar dan Tabel di bawah ini.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar (‘g’)	Percepatan puncak muka tanah Ao (‘g’)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Tabel Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah Ao untuk Wilayah Gempa 1 yang ditetapkan dalam Gambar dan Tabel ditetapkan juga sebagai percepatan minimum yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung untuk menjamin kekekaran (robustness) minimum dari struktur gedung tersebut.

Untuk masing-masing Wilayah Gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana C-T seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Dalam gambar tersebut C adalah Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik. Untuk $T = 0$ nilai C tersebut menjadi sama dengan Ao, di mana Ao merupakan percepatan puncak muka tanah .

Mengingat pada kisaran waktu getar alami pendek $0 < T < 0,2$ detik

terdapat ketidak-pastian, baik dalam karakteristik gerakan tanah maupun dalam tingkat daktilitas strukturnya, Faktor Respons Gempa C menurut Spektrum Respons Gempa Rencana yang ditetapkan dalam kisaran waktu getar alami pendek tersebut, nilainya tidak diambil kurang dari nilai maksimumnya untuk jenis tanah tersebut.

Dengan menetapkan percepatan respons maksimum Am

$$Am = 2,5 Ao \text{ (16)}$$

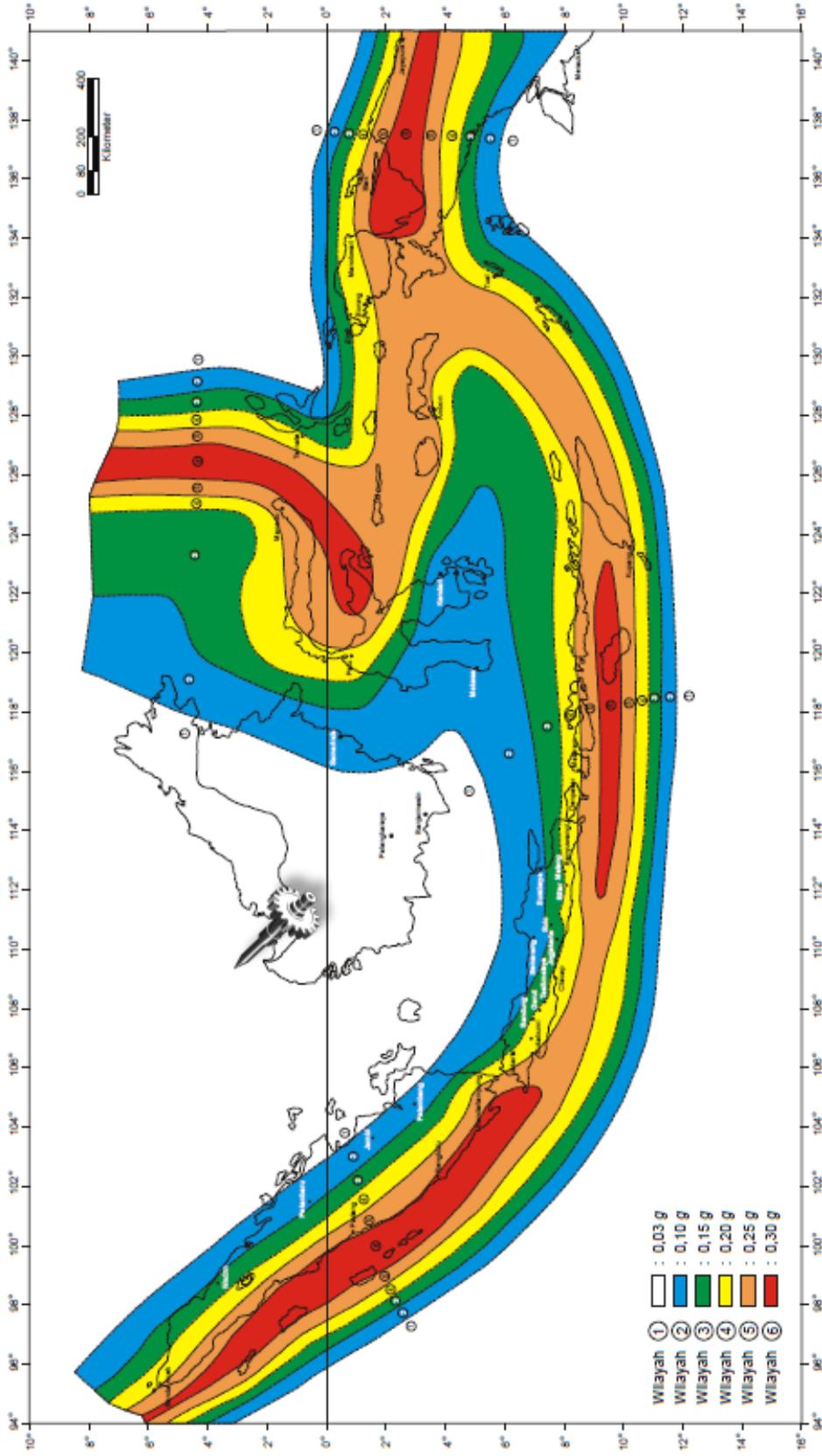
dan waktu getar alami sudut Tc sebesar 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik untuk jenis tanah berturut-turut Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, maka faktor Respons Gempa C ditentukan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut :

- untuk $T < Tc$: $C = Am$; - untuk $T > Tc$:

$$C = Ar/T$$

dengan

$$Ar = Am Tc$$



Gambar 2.1. Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun

2.3 Gempa Rencana dan Kategori Gedung

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 probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang

diharapkan, pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut persamaan :

$$I = I_1 I_2$$

di mana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan I_2 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan I_1 , I_2 dan I ditetapkan menurut Tabel berikut:

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

Tabel Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang izin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar Perencanaan

Ketahanan Gempa untuk Struktur bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002 maka Faktor Keutamaam, I , dapat dikalikan 80%.

2.4 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

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 40 m.
- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur 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-subsistem penahan 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% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, 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 lateralnya 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 satu 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 arah 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 statik ekuivalen.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh Gempa Rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik.

2.5 Pengaruh Gempa Vertikal

Unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi seperti balkon, kanopi dan balok kantilever berbentang panjang, balok transfer pada struktur gedung tinggi yang

memikul beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentang panjang, harus diperhitungkan terhadap komponen vertikal gerakan tanah akibat pengaruh Gempa Rencana, berupa beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah yang besarnya harus dihitung sebagai perkalian Faktor Respons Gempa vertikal C_v dan beban gravitasi, termasuk beban hidup yang sesuai.

Faktor Respons Gempa vertikal C_v dihitung menurut persamaan :

$$C_v = \psi A_o I \quad (20)$$

di mana koefisien ψ bergantung pada Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan ditetapkan menurut Tabel, dan A_o adalah percepatan puncak muka tanah, sedangkan I adalah Faktor Keutamaan gedung menurut Tabel di bawah ini

Wilayah gempa	ψ
1	0,5
2	0,5
3	0,5
4	0,6
5	0,7
6	0,8

Tabel Koefisien ψ untuk menghitung faktor respons gempa vertikal C_v

2.6 Pengaruh gempa pada struktur bawah

- Pembebanan gempa dari struktur atas pengaruh Gempa Rencana struktur bawah tidak boleh gagal lebih dulu dari struktur atas, maka struktur bawah harus dapat memikul pembebanan gempa

maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana V_m yang dapat diserap oleh struktur atas dalam kondisi di ambang keruntuhan menurut persamaan :

$$V_m = f_2 V_y$$

di mana V_y adalah pembebanan gempa akibat pengaruh Gempa Rencana yang

menyebabkan pelelehan pertama di dalam struktur gedung dan f_2 adalah faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung yang menyebabkan terjadinya redistribusi gaya-gaya oleh proses pembentukan sendi plastis yang tidak serempak bersamaan. Faktor kuat lebih struktur f_2 nilainya bergantung pada nilai faktor daktilitas struktur gedung μ yang bersangkutan dan ditetapkan menurut persamaan :

$$f_2 = 0,83 + 0,17 \mu \quad (37)$$

Maka pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana V_m dapat

dihitung dari pembebanan gempa nominal V_n menurut persamaan :

$$V_m = f V_n \quad (38)$$

di mana f disebut faktor kuat lebih total yang terdapat di dalam struktur gedung, yang ditetapkan menurut persamaan :

$$f = f_1 f_2 \quad (39)$$

dengan $f_1 = 1,6$ sebagai faktor kuat lebih beban dan bahan. Dalam Tabel 9 dicantumkan nilai f_2 dan f untuk berbagai nilai μ , berikut faktor reduksi gempa R yang bersangkutan, dengan ketentuan bahwa nilai μ dan R tidak dapat melampaui nilai maksimumnya

Taraf kinerja struktur	μ	R pers.(6)	f_2 pers.(37)	f pers.(39)
Elastik penuh	1,0	1,6	1,00	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4	1,09	1,7
	2,0	3,2	1,17	1,9
	2,5	4,0	1,26	2,0
	3,0	4,8	1,35	2,2
	3,5	5,6	1,44	2,3
	4,0	6,4	1,51	2,4
	4,5	7,2	1,61	2,6
	5,0	8,0	1,70	2,7
Daktail penuh	5,3	8,5	1,75	2,8

Tabel Faktor kuat lebih struktur f_2 dan faktor kuat lebih total f yang terkandung di dalam struktur gedung

Dengan beban gempa nominal statik ekuivalen F_i pada suatu struktur gedung menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i dan pada ketinggian z_i diukur dari taraf penjepitan lateral maka

pembebanan momen guling nominal maksimum dari struktur atas pada struktur bawah yang berperilaku elastic penuh dihitung menurut persamaan:

$$M_{gm} = f \sum_{i=1}^n F_i z_i = f_2 \sum_{i=1}^n F_i z_i$$

di mana R adalah faktor reduksi gempa untuk struktur elastik penuh ($R = f1$) dan n adalah nomor lantai tingkat paling atas. Momen guling nominal maksimum ini bekerja pada struktur bawah bersamaan dengan beban normal (vertikal) dan beban geser (horisontal)

Pada struktur atas gedung yang akibat pengaruh Gempa Rencana berada dalam kondisi di ambang keruntuhan terdapat kemungkinan terjadinya sendi plastis pada kaki semua kolom dan pada kaki semua dinding geser, maka momen guling yang dikerjakan oleh momen leleh akhir dari semua sendi plastis tersebut, harus

$$M_{gum} = \frac{1}{1,6} \left(\sum_{kolom} M_{y,k} + \sum_{dinding} M_{y,d} \right)$$

Di mana 1,6 adalah faktor kuat lebih beban dan bahan $f1$ dan penjumlahan harus dilakukan meliputi seluruh kolom dan seluruh dinding geser yang ada dalam struktur atas gedung. Momen guling nominal maksimum bekerja pada struktur bawah bersamaan dengan beban normal (vertikal) dan beban geser (horisontal).

Struktur atas suatu gedung dalam keadaan sesungguhnya akibat pengaruh interaksi tanah-struktur tidak sepenuhnya terjepit pada taraf penjepitan lateral, maka bila diinginkan pengaruh penjepitan tidak sempurna ini boleh diperhitungkan dengan cara yang rasional, yang bergantung pada jenis tanah dan keberadaan besmen.

- Pembebanan gempa dari gaya inersia

Dalam keadaan sesungguhnya akibat pengaruh interaksi tanah-struktur oleh

ditinjau sebagai kemungkinan pembebanan momen guling dari struktur atas pada struktur bawah. Dalam hal ini, apabila $M_{y,k}$ adalah momen leleh awal sendi plastis pada kaki kolom dan $M_{y,d}$ adalah momen leleh awal sendi plastis pada kaki dinding geser, masing-masing dihitung untuk gaya normal yang bersangkutan, di mana diagram interaksinya N-M untuk menghitung momen leleh masing-masing dihitung berdasarkan dimensi penampang dan kekuatan bahan terpasang, maka pembebanan momen guling nominal maksimum dari struktur atas pada struktur bawah dapat di hitung dengan persamaan:

pengaruh Gempa Rencana antara struktur bawah dan tanah sekelilingnya terdapat interaksi kinematik dan inersial, maka massa lantai-lantai besmen mengalami percepatan, sehingga mengalami gaya inersia sendiri yang bekerja sebagai beban gempa horizontal pada taraf lantai besmen tersebut, yang harus diperhitungkan membebani struktur besmen secara keseluruhan.

Apabila tidak ditentukan dengan cara yang lebih rasional, beban gempa horisontal nominal statik ekuivalen akibat gaya inersia sendiri F_b yang menangkap pada pusat massa lantai besmen dari struktur bawah yang berperilaku elastik penuh dapat dihitung dari persamaan :

$$F_b = 0,10 A_o I W_b \quad (43)$$

di mana A_o adalah percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh Gempa Rencana dan

Wb adalah berat lantai besmen, termasuk beban hidup yang sesuai.

- Pembebanan gempa dari tanah sekelilingnya

Apabila tidak ditentukan dengan cara yang lebih rasional, dinding besmen dan komponen lain struktur bawah harus diperhitungkan terhadap tekanan tanah dari tanah depan akibat pengaruh Gempa Rencana, yang nilainya dapat dianggap mencapai nilai maksimum sebesar nilai tekanan leleh tanah sepanjang kedalaman besmen. Tekanan leleh tanah tersebut yang bekerja pada struktur bawah yang berperilaku elastik penuh harus dijadikan tekanan tanah nominal dengan membaginya dengan faktor reduksi gempa $R = f1 = 1,6$ untuk struktur elastik penuh.

Dalam perhitungan struktur bawah suatu gedung sebagai struktur 3 dimensi, harus ditinjau keberadaan tanah belakang dengan memodelkannya sebagai pegas-pegas tekan dan bila diinginkan keberadaan tanah samping dan tanah bawah (fondasi) dapat ditinjau dengan memodelkannya sebagai pegas-pegas geser. Sifat-sifat pegas tekan dan pegas geser harus dijabarkan secara rasional dari data tanah dan fondasi tersebut.

2.7 Perencanaan Umum Struktur Gedung

- Struktur atas dan struktur bawah

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah, sedangkan struktur bawah adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di bawah muka tanah, yang terdiri dari struktur besmen atau

struktur fondasinya. Seluruh struktur bawah harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana.

Apabila tidak dilakukan analisis interaksi tanah-struktur, struktur atas dan struktur bawah dari suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh Gempa Rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada taraf lantai dasar. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya.

Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas kepala (pur) fondasi tiang. Apabila penjepitan tidak sempurna dari struktur atas gedung pada struktur bawah diperhitungkan, maka struktur atas gedung tersebut harus diperhitungkan terhadap pengaruh deformasi lateral maupun rotasional dari struktur bawahnya.

Dalam perencanaan struktur atas dan struktur bawah suatu gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, struktur bawah tidak boleh gagal lebih dahulu dari struktur atas. Untuk itu, terhadap Pengaruh Gempa Rencana unsur-unsur struktur bawah harus tetap berperilaku elastik penuh, tak bergantung pada tingkat daktilitas yang dimiliki struktur atasnya.

- Struktur Penahan Beban Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana,

semua unsur struktur gedung, baik bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, lantai tanpa balok (lantai cendawan) dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana.

Pengabaian pemikulan pengaruh Gempa Rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau subsistem struktur gedung hanya diperkenankan, bila partisipasi pemikulan pengaruh gempanya adalah kurang dari 10%. Dalam hal ini, unsur atau subsistem tersebut selain terhadap beban gravitasi, juga harus direncanakan terhadap simpangan sistem struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung yang berperilaku elastik penuh, yaitu terhadap simpangan sebesar $R/1,6$ kali simpangan akibat beban gempa nominal pada struktur gedung tersebut, di mana R adalah factor reduksi gempa dari struktur gedung itu dan $1,6$ adalah faktor reduksi gempa untuk struktur elastik penuh ($R = f1$).

Dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding-dinding geser dan rangka-rangka terbuka, beban geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang dipikul oleh rangka-rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut.

- Lantai Tingkat Sebagai Diafragma

Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya dan karenanya dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horisontal. Lantai tingkat, atap beton

dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung yang tidak kaku dalam bidangnya, karena mengandung lubang-lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat, akan mengalami deformasi dalam bidangnya akibat beban gempa horisontal, yang harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap pembagian beban gempa horisontal tersebut kepada seluruh system struktur tingkat yang ada.

- Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Lantai Tingkat

Pusat massa lantai tingkat suatu struktur gedung adalah titik tangkap resultante beban mati, berikut beban hidup yang sesuai, yang bekerja pada lantai tingkat itu. Pada perencanaan struktur gedung, pusat massa adalah titik tangkap beban gempa static ekuivalen atau gaya gempa dinamik.

Pusat rotasi lantai tingkat suatu struktur gedung adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horisontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horisontal semuanya berotasi dan bertranslasi. Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_d . Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b , maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut:

- untuk $0 < e < 0,3 b$:

$$e_d = 1,5 e + 0,05 b$$

atau

$$e_d = e - 0,05 b$$

dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau;

- untuk $e > 0,3 b$:

$$ed = 1,33 e + 0,1 b$$

atau

$$ed = 1,17 e - 0,1 b$$

dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, eksentrisitas rencana ed antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau baik dalam analisis statik, maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.

- Kekakuan dan Fleksibilitas Struktur

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut :

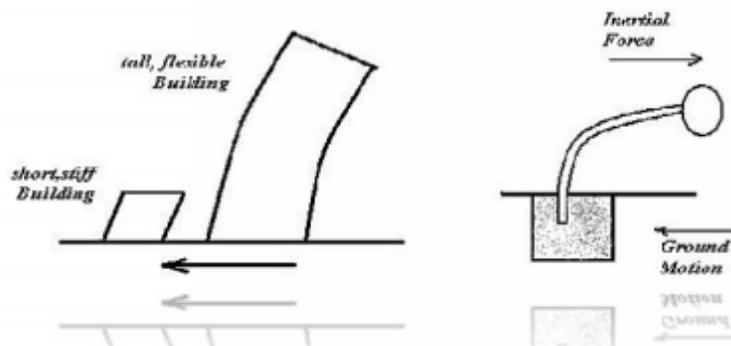
- untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75%

- untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60%
- untuk dinding geser beton bertulang berangkai
 - * komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 50%
 - * komponen dinding yang mengalami tekanan aksial : 80%
 - * komponen balok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
 - * komponen balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%

Modulus elastisitas beton E_c harus ditetapkan sesuai dengan mutu (kuat tekan) beton yang dipakai, sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan sebesar $E_s = 200$ GPa. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, kekakuan unsur struktur harus dipakai baik dalam analisis statik maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.

Lebih tinggi bangunan, semakin lama periodenya. Bangunan yang lebih tinggi cenderung lebih fleksibel daripada bangunan rendah. bangunan rendah akan cenderung kaku, sedangkan

bangunan tinggi akan lebih fleksibel. sehingga, fleksibilitas dan kekakuan yang benar-benar hanya dua sisi mata uang yang sama. Jika ada sesuatu yang kaku, tidak fleksibel dan sebaliknya.



- Pembatasan 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:

$$T_1 < \zeta n$$

di mana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel di bawah ini

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

Tabel Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung

- Pengaruh P-Delta

Struktur gedung yang tingginya diukur dari taraf penjepitan lateral adalah lebih dari 10 tingkat atau 40 m, harus diperhitungkan terhadap Pengaruh P-Delta, yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, di mana simpangan ke samping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang ke samping.

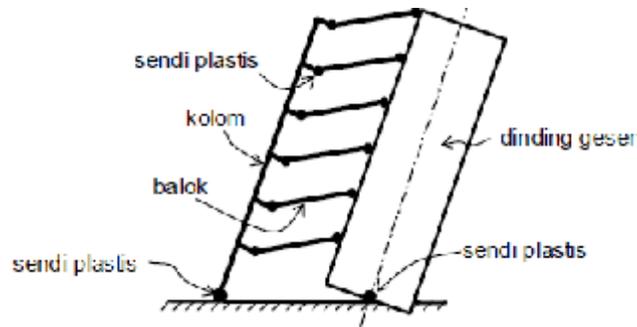
- Arah pembebanan gempa

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Untuk mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa

dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

-Perencanaan Kapasitas

Faktor daktilitas suatu struktur gedung merupakan dasar bagi penentuan beban gempa yang bekerja pada struktur gedung. Karena itu, tercapainya tingkat daktilitas yang diharapkan harus terjamin dengan baik. Hal ini dapat tercapai dengan menetapkan suatu persyaratan yang disebut "kolom kuat balok lemah". Hal ini berarti, bahwa akibat pengaruh Gempa Rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom dan kaki dinding geser saja. Secara ideal, mekanisme keruntuhan suatu struktur gedung adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar di bawah ini.



Gambar Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung dengan sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok, kaki kolom.

3. PENUTUP

Teknologi bangunan tahan gempa sudah banyak di temukan dan di aplikasikan dalam bentuk nyata. Bahkan sampai saat ini masih dikembangkan ke arah yang lebih baik lagi. Namun ada baiknya kewaspadaan akan bahaya gempa harus lebih ditingkatkan, mengingat gempa yang terjadi di kota Kobe, Jepang. Walaupun Jepang dikenal sebagai Negara yang maju dalam hal teknologi bangunan tahan gempa, tetapi tidak berdaya menghadapi gempa bumi yang terjadi pada tahun 1996. Namun disini lain aspek pengutamaan prinsip perencanaan bangunan tahan gempa haruslah lebih diperhatikan demi meminimalisir kemungkinan kerusakan yang akan terjadi akibat gempa tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Sabaruddin, Arief, 2008. "Membangun Rumah Sehat Tahan Gempa". Jakarta: Pnobar Swadaya

Schodek, L. Daniel, 1998. "STRUKTUR". Bandung: PT Refika Aditama.

————— *"Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung", SNI-1726-2002 (Bandung: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).*

————— *"Standarisasi Bangunan Tahan Gempa", Tren Konstruksi (Edisi September-Oktober 2010).*

http://articles.architectjaved.com/earthquake_resistant_structures/design-earthquake-resistant-buildings-engineering-tips/