

KRITERIA DASAR PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA

(¹) Agus Bambang Siswanto, (²) M Afif Salim,
(¹) (²) Dosen Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Email : agus_bambang_iswanto@untagsmg.ac.id

Abstrak

Beban gempa merupakan beban yang sangat tidak dapat diperkirakan baik besarnya, arahnya, maupun saat terjadinya. Besarnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan, tergantung dari banyak variabel. Gaya horisontal, gaya vertikal dan momen torsi yang terjadi akibat gempa pada struktur, sangat tergantung pada berat dan kekakuan material struktur, konfigurasi dan sistem struktur, periode atau waktu getar struktur, kondisi tanah dasar, wilayah kegempaan, serta perilaku gempa itu sendiri.

Agar beban gempa pada struktur bangunan yang diperhitungkan tidak terlalu besar dan arahnya cukup dapat diperkirakan, serta distribusi beban gempa dapat dilakukan dengan cara yang sederhana, maka ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur bangunan di daerah rawan gempa adalah : tata letak dari struktur, perencanaan kapasitas dengan konsep *strong column – weak beam*, serta pendetailan yang baik dari elemen-elemen struktur. Dengan memenuhi persyaratan-persyaratan di atas, maka dapat diharapkan perencanaan struktur di daerah rawan gempa dapat dilakukan dengan cara yang sederhana, aman, dan ekonomis.

Kata Kunci : beban gempa, material struktur, sistem struktur, static, dinamic

Pendahuluan

Banyak kejadian menunjukkan bahwa kesalahan di dalam memilih konfigurasi struktur, jenis material yang digunakan, serta sistem struktural dari bangunan, dapat mengakibatkan kerusakan bahkan kehancuran secara menyeluruh dari struktur bangunan tersebut, akibat pembebanan berulang yang disebabkan oleh pengaruh gempa. Hal ini disebabkan karena struktur bangunan tidak mempunyai kinerja dan respon yang baik pada saat terjadi gempa, serta tidak mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh beban gempa yang bersifat dinamik, meskipun telah dilakukan prosedur perencanaan struktur tahan gempa.

Agar perencanaan struktur dapat dilakukan dengan cara analisis statik yang sederhana, tanpa melakukan prosedur analisis dinamik yang rumit, serta perilaku struktur diharapkan mempunyai kinerja yang baik pada saat terjadi gempa, maka sangat penting untuk mengatur tata letak dari struktur bangunan. Beberapa kriteria dasar yang dapat dipakai sebagai acuan untuk merencanakan tata letak struktur bangunan di daerah rawan gempa adalah :

- Struktur bangunan harus mempunyai bentuk yang sederhana, kompak dan simetris
- Struktur bangunan tidak boleh terlalu langsing, mempunyai kekakuan yang cukup.
- Distribusi dari massa, kekakuan dan kekuatan disepanjang tinggi bangunan diusahakan seragam dan menerus.
- Elemen-elemen vertikal dari struktur (kolom) harus dibuat lebih kuat dari elemen-elemen

horisontal dari struktur (balok), agar sendi plastis terbentuk terlebih dahulu pada balok-balok (*strong column – weak beam*).

Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Prosedur analisis yang paling sederhana dan yang langsung dapat digunakan untuk menentukan pengaruh dari beban gempa terhadap struktur bangunan adalah prosedur analisis statik. Analisis statik hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur bangunan dengan bentuk yang sederhana dan beraturan atau simetris, yang tidak menunjukkan perbandingan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya. Prosedur analisis statik ini hanyalah suatu cara pendekatan yang menirukan pengaruh dinamik dari beban gempa yang sesungguhnya.

Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap pengaruh gempa (struktur dengan bentuk yang tidak beraturan), harus di analisis dengan prosedur analisis dinamik. Struktur-struktur bangunan yang beraturan, dapat juga dianalisis dengan prosedur analisis dinamik jika diinginkan.

a. Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Pengaruh beban gempa horisontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan, atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Pengaruh bekerjanya beban gempa secara bersamaan pada kedua arah sumbu utama, dapat sangat membahayakan kekuatan struktur. Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau untuk merencanakan kekuatan dari kolom-kolom struktur adalah :

Beban gravitasi $\pm 100\%$ beban gempa arah X $\pm 30\%$ beban gempa arah Y

Beban gravitasi $\pm 30\%$ beban gempa arah X $\pm 100\%$ beban gempa arah Y

Kombinasi pembebanan yang menghasilkan keadaan yang paling berbahaya bagi kolom-kolom struktur dan elemen-elemen vertikal struktur penahan gempa seperti dinding geser (*shear wall*), dinding inti (*core wall*), yang digunakan untuk perencanaan.

b. Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Selain percepatan gerakan tanah pada arah horisontal, pada saat terjadi gempa terdapat juga percepatan gerakan tanah berarah vertikal. Gerakan tanah kearah vertical ini dapat mengakibatkan pengaruh beban gempa berarah vertikal yang bekerja pada struktur bangunan. Meskipun dari beberapa pengalaman gempa menunjukkan mekanisme ini, tapi sampai saat ini respon dari struktur bangunan terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Pada

umumnya, tinjauan perencanaan struktur terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal ini dapat diabaikan, dengan anggapan bahwa elemen-elemen dari struktur telah direncanakan berdasarkan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang arahnya vertikal ke bawah.

Analisis respon dinamik yang sesungguhnya dari unsur-unsur struktur tersebut terhadap gerakan vertikal tanah akibat gempa sangat rumit, karena terjadi interaksi antara respon elemen dengan respon struktur secara keseluruhan. Analisis terhadap unsur-unsur dari struktur bangunan ini dapat dilakukan secara sederhana dengan meninjau pengaruh dari percepatan vertikal tanah akibat gempa, sebagai beban gempa vertikal statik ekuivalen. Beban vertikal statik ekuivalen yang harus ditinjau bekerja ke atas atau ke bawah, besarnya dihitung sebagai perkalian antara Faktor Respon Gempa vertikal C_v dengan beban gravitasi, termasuk beban hidup yang sesuai.

Faktor Respon Gempa vertikal C_v dapat dihitung menurut persamaan $C_v = \psi \cdot A_m \cdot I$, dimana koefisien ψ bergantung pada Wilayah Gempa tempat struktur bangunan berada. Besarnya harga untuk koefisien ψ adalah 0,5 sampai 0,8. A_m adalah percepatan tanah maksimum, dan I adalah Faktor Keutamaan struktur bangunan.

Komponen vertikal gerakan tanah akibat gempa relatif akan semakin besar, jika semakin dekat dengan pusat gempa dari lokasi yang ditinjau. karena itu, semakin tinggi kegempaan suatu wilayah gempa, semakin dekat wilayah tersebut dengan sumber gempa, maka koefisien ψ nilainya akan meningkat. Perhitungan beban gempa kearah vertikal akibat pergerakan tanah, tidak tergantung pada waktu getar alami dan tingkat daktilitas struktur.

c. Pengaruh Beban Gravitasi Vertikal.

Beban gravitasi vertikal pada struktur bangunan dapat terdiri dari kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Beban-beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan pada umumnya dapat direduksi pada saat dilakukan analisis beban gempa pada struktur tersebut, tujuan mereduksi beban hidup ini adalah untuk mendapatkan desain struktur yang cukup ekonomis.

Beban Gempa Statik Ekuivalen

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen.

Pada struktur gedung beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D, respons dinamik ragam fundamentalnya adalah sangat dominan, sehingga respons dinamik ragam-ragam lainnya dianggap dapat diabaikan. Kemudian, berhubung struktur gedung tidak terlalu tinggi yaitu

kurang dari 10 tingkat atau 40 m, maka bentuk ragam fundamental dapat dianggap mengikuti garis lurus. Dengan dua anggapan penyederhanaan ini, respons dinamik dari struktur bangunan gedung beraturan dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa statik ekuivalen. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, adalah menggantikan beban-beban horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh dinamik pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan beban-beban statik yang ekuivalen, tujuannya untuk menyederhanaan prosedur perhitungan.

Prosedur analisis statik yang sering digunakan pada praktek perencanaan struktur bangunan gedung, adalah Analisis Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen. Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horisontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan perkalian antara suatu koefisien atau konstanta, dengan berat atau massa dari elemen-elemen struktur tersebut.

Analisis Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen merupakan metode pendekatan dari sifat-sifat dinamik yang sebenarnya dari beban gempa yang bekerja pada struktur. Struktur-struktur yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap beban gempa, struktur-struktur dengan tinggi tingkat lebih dari 40 meter, atau struktur-struktur gedung yang tidak beraturan dengan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter, harus dianalisis dengan prosedur analisis dinamik.

Besarnya beban Gempa Nominal statik ekuivalen yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu oleh besarnya Gempa Rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), besarnya Beban Gempa Nominal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t$$

Dimana, I adalah Faktor Keutamaan Struktur, C adalah nilai Faktor Respon Gempa yang didapat dari Respon Spektrum Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental struktur T , dan W_t ditetapkan sebagai jumlah dari beban mati ditambah beban hidup yang direduksi. R adalah Faktor Reduksi Gempa yang besarnya tergantung dari besarnya tingkat daktilitas struktur. Untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastik penuh harga $R=1,6$, sedangkan untuk bangunan gedung yang berperilaku daktail penuh harga $R=8,5$.

Pada struktur bangunan gedung bertingkat, beban gempa horisontal V , untuk selanjutnya

didistribusikan pada setiap tingkat dari struktur bangunan gedung. Besarnya gaya gempa yang bekerja pada masing-masing tingkat dari bangunan gedung tergantung dari berat dan ketinggian tingkat.

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan merupakan gaya inersia. Besarnya gaya inersia ini tergantung dari banyak faktor. Berat atau massa bangunan dan percepatan gempa merupakan faktor yang paling utama. Faktor-faktor lainnya yang juga mempengaruhi besarnya beban gempa pada struktur adalah bagaimana cara massa dari bangunan tersebut terdistribusi, kekakuan dari sistem struktur bangunan, kondisi tanah di dasar bangunan, mekanisme redaman pada struktur bangunan, dan perilaku dari getaran gempa. Faktor yang terakhir ini paling sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak (random). Gerakan tanah yang ditimbulkan oleh getaran gempa dapat berperilaku tiga dimensi. Pada umumnya, hanya gerakan tanah kearah horisontal saja yang ditinjau di dalam perencanaan struktur.

Periode atau waktu getar struktur yang besarnya dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur, merupakan faktor penting yang mempengaruhi respon struktur terhadap getaran gempa. Struktur yang kaku dengan periode getar yang pendek, misalnya struktur portal dengan dinding geser, akan menerima beban gempa yang lebih besar dibandingkan struktur yang fleksibel dengan periode getar yang panjang, misalnya struktur portal biasa. Penggunaan dinding geser pada sistem struktur sering tidak dapat dihindari, khususnya pada bangunan-bangunan tinggi atau pada bangunan-bangunan yang didirikan di wilayah atau zona gempa yang berat. Fungsi dari dinding geser disini adalah untuk membatasi besarnya simpangan horisontal yang terjadi pada struktur.

a. Waktu Getar Struktur

Untuk keperluan analisis pendahuluan, waktu getar alami (T) dari struktur bangunan gedung (dalam detik) dapat ditentukan dengan rumus empiris sebagai berikut :

- Untuk struktur-struktur bangunan gedung yang berbentuk portal tanpa unsur pengaku (dinding geser/ *shear wall* atau *bracing*) yang membatasi simpangan :

$$T \text{ empiris} = 0,085 H^{0,75} \quad (\text{ untuk portal baja })$$

$$T \text{ empiris} = 0,060 H^{0,75} \quad (\text{ untuk portal beton })$$

- Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya :

$$T \text{ empiris} = 0,009 H/(B)^{0,5}$$

dimana H adalah ketinggian dari struktur bangunan gedung (dalam meter) di ukur dari taraf penjepitan lateral, dan B adalah panjang dari denah struktur bangunan dalam arah gempa yang ditinjau (dalam meter).

Setelah didapatkan gaya-gaya gempa pada struktur dengan menggunakan T empiris, waktu getar sebenarnya dari struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat dihitung ulang dengan menggunakan Rumus Rayleigh.

Waktu getar alami fundamental dari struktur bangunan gedung ditentukan dengan rumus-rumus empirik atau didapat dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai waktu getar struktur yang dihitung dengan Rumus Rayleigh.

b. Pembagian Beban Gempa Pada Struktur

Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen (V) akibat gempa harus didistribusikan di sepanjang tinggi tingkat gedung menjadi beban-beban horisontal terpusat (F_i), yang bekerja pada masing-masing lantai tingkat. Taraf penjepitan lateral adalah taraf dimana gerakan tanah akibat gempa dipindahkan dari tanah kepada struktur atas bangunan melalui struktur bawahnya. Dalam analisis, struktur atas dapat dianggap terjepit pada taraf penjepitan lateral. Jika terdapat *basement*, taraf penjepitan lateral dapat dianggap terjadi pada taraf lantai dasar. Jika tidak ada *basement*, taraf penjepitan lateral dapat dianggap terjadi pada bidang telapak pondasi langsung atau pondasi rakit, dan pada bidang atas *pile cap* pondasi tiang.

Pembagian beban gempa statik ekuivalen (V) horisontal, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Jika perbandingan antara tinggi struktur dan lebar denah bangunan adalah sama atau melebihi 3, maka $0,10 V$ harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai puncak bangunan, sedangkan $0,90 V$ sisanya harus dibagikan menjadi beban-beban horisontal terpusat menurut rumus di atas.
- Untuk cerobong yang berdiri di atas tanah, $0,20 V$ harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang bekerja pada puncaknya, sedangkan $0,80 V$ sisanya harus dibagikan menjadi beban-beban horisontal terpusat menurut rumus di atas.
- Untuk tangki di atas menara, beban horisontal terpusat sebesar V harus dianggap bekerja pada titik berat seluruh struktur menara dan tangki berikut isinya.

Prosedur Analisis Dinamik

Analisis dinamik pada perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari distribusi gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan gedung, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang atau dinamik. Pada struktur bangunan gedung yang tinggi atau struktur

bangunan gedung dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak beraturan, analisis dinamik diperlukan untuk mengevaluasi secara akurat respons dinamik yang terjadi dari struktur. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan gedung dengan karakteristik sebagai berikut :

- Gedung-gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- Gedung-gedung dengan loncatan-loncatan bidang muka yang besar
- Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 meter

Prosedur analisis dinamik yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya beban gempa pada struktur seperti yang tercantum di dalam standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), adalah metode Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectral Modal Analysis*) dan Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*).

Nilai akhir dari respons dinamik struktur bangunan gedung terhadap pembebanan gempa dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya gempa (V), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut :

$$V \geq 0,8 V_1$$

dimana V_1 adalah Beban Gempa Nominal.

a. Analisis Ragam Spektrum Respons

Analisis Ragam Spektrum Respon pada umumnya dapat dipakai untuk menentukan respon elastis dari struktur bangunan tidak beraturan dengan Banyak Derajat Kebebasan yang didasarkan pada kenyataan bahwa respon suatu struktur merupakan superposisi dari respon masing-masing ragam getarnya. Masing-masing ragam getar memberikan respon dengan sifat-sifatnya tersendiri, seperti bentuk simpangan dan frekuensi getaran. Untuk

Perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda Analisis Ragam Spektrum Respons dengan memakai Spektrum Respons Gempa Rencana yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi I/R, dimana I adalah Faktor Keutamaan, sedangkan R adalah Faktor Reduksi Gempa dari struktur gedung yang bersangkutan. Dalam hal ini, jumlah ragam getar yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-

kurangnya 90%.

Penjumlahan respons ragam getar untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS).

Gaya gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil dari Analisis Ragam Spektrum Respons dalam suatu arah tertentu, harus dikalikan nilainya dengan suatu Faktor Skala :

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,8 V_1}{V_t} \geq 1$$

dimana V_1 adalah gaya gempa sebagai respons dinamik yang pertama saja dan V_t adalah gaya gempa yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.

b. Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu

Perhitungan respons dinamik struktur bangunan gedung tidak beraturan terhadap pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis dinamik berupa Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu yang bersifat linier atau non-linier dengan suatu akselerogram gempa yang dianggakan sebagai gerakan tanah masukan. Untuk Analisis Respons Dinamik Linier Riwayat Waktu terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncaknya A menjadi :

$$A = \frac{A_0 I}{R}$$

dimana A_0 adalah Percepatan Puncak Muka Tanah, R adalah Faktor Reduksi Gempa dari struktur yang bersangkutan, sedangkan I adalah Faktor Keutamaan dari struktur bangunan. Nilai-nilai A_0 , I , dan R tercantum didalam standar gempa. Dalam analisis ini redaman struktur yang harus diperhitungkan dapat dianggap 5% dari redaman kritis.

Untuk mengkaji perilaku pasca-elastik struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, harus dilakukan Analisis Respons Dinamik Non-linier Riwayat Waktu, dimana

percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga nilai percepatan puncaknya menjadi sama dengan A_0I .

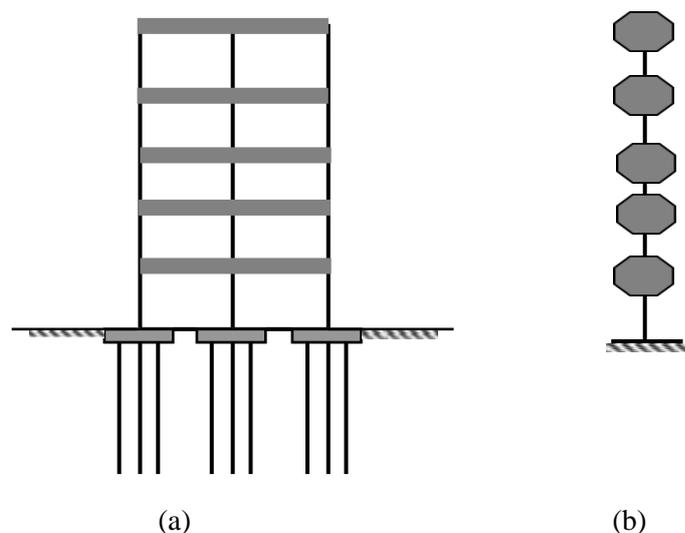
Akselerogram gempa masukan yang ditinjau harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda..

Berhubung gerakan tanah akibat gempa pada suatu lokasi tidak mungkin dapat diperkirakan dengan tepat, maka sebagai gempa masukan dapat juga dipakai gerakan tanah yang disimulasikan. Parameter-parameter yang menentukan gerakan tanah yang disimulasikan ini antara lain terdiri dari waktu getar dominan tanah, konfigurasi spektrum respons, jangka waktu gerakan dan intensitas gempanya.

c. Ragam Getar Struktur

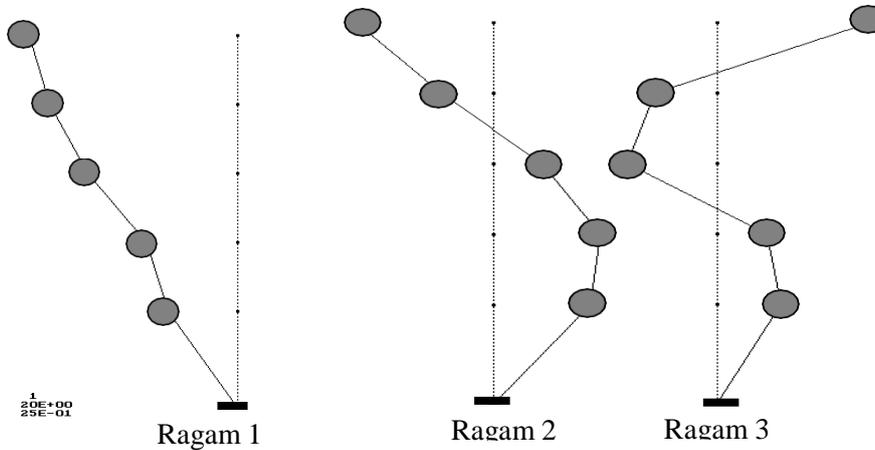
Pada perhitungan distribusi beban gempa dengan cara analisis dinamik, struktur bangunan gedung biasanya dimodelkan dengan berat atau massa setiap tingkat dipusatkan pada bidang lantainya. Pemodelan massa bangunan seperti ini disebut model massa terpusat, yang bertujuan untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan yang terdapat pada struktur.

Sebagai contoh, pada Gambar diperlihatkan struktur bangunan gedung 5 lantai yang dimodelkan sebagai bangunan geser dengan massa-massa terpusat pada bidang lantainya. Struktur mendapat pengaruh gempa pada tanah dasar



Gambar 1. Model struktur bangunan gedung untuk analisis dinamik : (a). Model struktur portal.
(b). Model massa terpusat

Dari hasil analisis dinamik untuk 3 ragam getar (*mode shape*), didapatkan waktu getar (T) dari struktur bangunan gedung adalah : $T_1 = 1,16$ detik, $T_2 = 0,46$ detik, dan $T_3 = 0,31$ detik. Ragam getar dari struktur diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Ragam getar (*mode shape*) dari struktur bangunan gedung 5 lantai

Pemilihan Cara Analisis

Di dalam standar perencanaan struktur terhadap gempa pada umumnya dicantumkan konsep dari prosedur analisis statik maupun analisis dinamik. Pemilihan metode analisis yang akan digunakan untuk perencanaan suatu struktur bangunan ditentukan berdasarkan bentuk atau konfigurasi dari struktur bangunan, serta fungsi dari bangunan yang bersangkutan.

Pada analisis respon dari struktur terhadap gempa, semakin teliti prosedur perhitungan yang digunakan, akan semakin handal dan ekonomis struktur bangunan yang direncanakan, selain itu perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain, ukuran dan bentuk struktur, kepentingan dan kegunaan struktur, serta hal-hal lain yang berhubungan dengan kondisi tanah dasar dan wilayah kegempaan.

Untuk keperluan analisis perencanaan gempa dari struktur bangunan yang berukuran sedang atau menengah, dapat dilakukan prosedur analisis statik dengan metode Analisis Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen. Disarankan untuk memeriksa gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan menggunakan Spektrum Respon Gempa Rencana yang sesuai dengan wilayah gempa serta kondisi tanah dasar dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan.

Untuk struktur bangunan yang besar dan cukup penting, analisis perencanaan terhadap pengaruh gempa tidak cukup hanya dilakukan dengan analisis statik saja, tetapi harus menggunakan prosedur analisis dinamik untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Metode analisis dinamik yang sering digunakan dalam praktek perencanaan struktur

adalah metode Analisis Ragam Spektrum Respon. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur dengan karakteristik : bangunan gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan, bangunan gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.

Selain Analisis Ragam Spektrum Respon, analisis dinamik dapat juga dilakukan dengan metode Analisis Respon Dinamik Linier Riwayat Waktu. Untuk struktur bangunan yang sangat besar atau struktur yang sangat penting, selain analisis dinamik yang bersifat elastis, kadang-kadang diperlukan juga analisis dinamis yang bersifat inelastis dengan metode Analisis Respon Dinamik Non-linier Riwayat Waktu untuk memastikan bahwa struktur tersebut cukup aman terhadap pengaruh gempa kuat.

Untuk keperluan analisis dinamis, struktur bangunan dimodelkan sebagai bangunan geser dengan sistem massa-massa yang terpusat (*lumped-mass model*), dengan tujuan untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan yang ada pada struktur. Model massa terpusat dapat menyederhanakan prosedur perhitungan.

Kriteria Dasar Perencanaan

Pada tahap awal dari perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, konfigurasi dari denah bangunan, material struktur dan bentuk atau sistem struktur, harus ditentukan terlebih dahulu yang akan mempengaruhi tahap selanjutnya dari prosedur perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Material-material untuk struktur bangunan, mempunyai sifat atau karakteristik yang berlainan dalam menerima pengaruh beban gempa yang bersifat dinamik, oleh karena itu material dari struktur harus dipilih sedemikian rupa sehingga didapatkan sistem struktur yang ekonomis dan cukup aman terhadap pengaruh beban-beban yang bekerja selama umur rencananya.

Yang perlu diperhatikan oleh seorang perencana struktur di dalam merancang struktur tahan gempa adalah bahwa, bentuk atau konfigurasi struktur akan berpengaruh terhadap respons statik maupun respons dinamik dari struktur, di dalam menerima beban gempa

a. Material Struktur

Dari sudut pandang rekayasa sipil terhadap perencanaan struktur bangunan tahan gempa, beberapa kriteria atau persyaratan yang harus dipunyai oleh material dari struktur agar mampu untuk menahan pengaruh beban gempa adalah :

1. Perbandingan antara kekuatan dan berat dari material struktur, harus cukup besar

Karena beban gempa yang bekerja pada suatu struktur bangunan merupakan gaya inersia yang besarnya dipengaruhi oleh berat atau massa struktur dan percepatan gempa, maka akan lebih menguntungkan jika digunakan material konstruksi yang ringan tetapi kuat, sehingga intensitas gaya gempa yang bekerja pada struktur dapat berkurang.

2. Material struktur harus mempunyai kemampuan untuk berdeformasi (bersifat daktail).

Material struktur yang mempunyai kemampuan berdeformasi plastis serta mempunyai sifat daktilitas yang tinggi, akan mempunyai ketahanan yang baik terhadap pengaruh beban gempa yang bersifat bolak-balik, karena material struktur ini mempunyai tingkat pemencaran energi gempa yang baik. Sifat daktilitas dapat membatasi besarnya gaya gempa yang bekerja pada struktur. Semakin besar sifat daktilitas dari material yang digunakan pada struktur, maka akan semakin besar pula tingkat pemencaran energi yang dipunyai oleh sistem struktur tersebut, sehingga gaya gempa yang bekerja atau masuk ke dalam struktur akan semakin kecil.

3. Sifat degradasi kekuatan dan degradasi kekakuan dari material struktur, harus cukup rendah

Material-material struktur, khususnya material untuk elemen-elemen struktur yang difungsikan menahan beban gempa, sedapat mungkin harus digunakan material yang mempunyai sifat degradasi kekakuan serta degradasi kekuatan yang rendah di bawah pengaruh beban gempa yang berulang. Degradasi adalah pengurangan kekuatan dan kekakuan dari suatu material akibat beban berulang.

4. Keseragaman Kekuatan dan Kekakuan

Agar didapatkan respons dinamik yang baik dari struktur pada saat terjadi gempa. maka perlu diusahakan agar konfigurasi dari sistem struktur yang meliputi ukuran dan jenis material yang digunakan, harus mempunyai kekuatan serta kekakuan yang seragam, baik dalam arah vertikal maupun arah horizontal bangunan. Sambungan antara elemen-elemen struktural, harus direncanakan lebih kuat dari pada elemen-elemen yang disambung, agar kerusakan struktur akibat gempa tidak terjadi pada sambungan.

5. Harga yang ekonomis

Di dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa perlu diusahakan pemilihan material dengan harga yang cukup ekonomis, tetapi dari segi structural atau dari segi kekuatan dapat dipertanggungjawabkan.

b. Jenis Struktur

Perilaku dari elemen-elemen struktur bangunan terhadap pengaruh gempa tidak dapat dievaluasi hanya dari segi material saja. Faktor-faktor lain seperti kontinuitas sambungan, keseragaman kekakuan, dan detail struktural, harus ikut pula diperhitungkan di dalam mengevaluasi sistem struktur secara keseluruhan, agar tahan terhadap pengaruh gempa. Secara

umum tingkat ketahanan suatu sistem struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat sesuai digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi (*highrise building*), karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Sifat daktil diperlukan agar struktur mampu mengalami deformasi atau perubahan bentuk secara daktil dengan cara memencarkan energi gempa dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur. Selain itu material baja mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang sama besar, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai elemen struktur yang memikul beban dinamik yang berarah bolak-balik.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Pada umumnya struktur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Di dalam menerima pembebanan gempa, struktur komposit menunjukkan perilaku yang baik karena struktur ini mempunyai sifat-sifat dari struktur baja dan struktur beton bertulang.

3. Struktur Kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan yang cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan merupakan struktur yang ringan dan mampu menyerap banyak energi gempa sebelum runtuh. Kelemahan dari struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran.

4. Struktur Beton Bertulang (*Reinforced Concrete Structure*)

Struktur beton bertulang merupakan struktur yang paling banyak digunakan atau dibangun orang dibandingkan dengan jenis struktur yang lainnya. Struktur beton bertulang lebih murah dan lebih monolit dibandingkan dengan struktur baja maupun struktur komposit., maka struktur ini mempunyai perilaku yang baik di dalam memikul beban gempa. Untuk mendapatkan hal ini , maka di dalam perancangan struktur beton bertulang tahan gempa, perlu diperhatikan adanya detail penulangan yang baik dan benar.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Struktur beton dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen-elemen pracetak, umumnya ketahanan terhadap pengaruh gempa kurang baik. Evaluasi terhadap respon statik maupun respon dinamik dari struktur beton pracetak yang tersusun dari elemen- elemen pracetak berbentuk batang (balok atau kolom) lebih sulit diperhitungkan, dibandingkan dengan struktur beton pracetak yang tersusun dari elemen berbentuk panel (dinding atau pelat). bagian yang terlemah pada sistem struktur ada pada sambungan dan sering mengalami kerusakan atau kegagalan pada saat terjadi gempa.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada suatu elemen struktur beton, akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi dari sistem struktur tersebut secara keseluruhan, dan akan mempengaruhi karakteristik respon dari struktur terhadap pengaruh beban gempa. Elemen struktur beton prategang mempunyai sifat daktilitas yang lebih rendah dibandingkan elemen struktur beton bertulang biasa, sehingga struktur beton prategang mempunyai sifat penyerapan energi gempa yang kurang baik.

7. Struktur Pasangan Bata (*Masonry Structure*)

Struktur pasangan bata yang diperkuat memiliki ketahanan yang baik terhadap beban gempa dengan melakukan prosedur perancangan serta pelaksanaan konstruksi yang baik dan benar. misalnya dengan memasang perkuatan dari baja.

DAFTAR PUSTAKA

Afif Salim, Agus Bambang Siswanto, *REKAYASA GEMPA*, K Media, Yogyakarta.

Agus Bambang Siswanto, Bambang Wuritno, Maria Elizabeth, 2017. *Structure Design of Parking Building Sunter Park View Apartment with the Equivalent Static Analysis Method*, International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(12), pp. 703-717.

Delfebriyadi, 2010, *Rekayasa Gempa Teknik Sipil*, CV. Ferila., Padang

Departemen Pekerjaan Umum, (2004), "*Pemeriksaan Awal Kerusakan Bangunan Beton Bertulang Akibat Gempa*", Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

Hartuti, E.R., 2009, *Buku Pintar Gempa*, DIVA Press, Yogyakarta

Nawy, E. G., 1990, *Beton Bertulang*, PT. Eresco, Bandung.

Pawirodikromo, W., 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar., Yogyakarta

Siswanto, Agus Bambang, 2016, Modul Kuliah Rekayasa Gempa, Untag Semarang

SNI 03-1726-2002, (2002), "*Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*".