

Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Oleh : Mochammad Teguh



Mochammad Teguh, alumni Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan Ull Tahun 1985, S2 diselesaikan di Civil Engineering Department, College of Engineering, University of the Philippines (1990). Sebagai dosen negeri yang dipekerjakan di Ull. Tahun 1990-1992 Ketua Jurusan Teknik Sipil dan sekarang menjabat Pembantu Dekan Bidang Akademik (Lektor Muda/III C). Aktif dalam kegiatan penelitian. Dan beberapa karya penelitian antara

lain : Komparasi Desain Batang Lentur Tekan antara Metode Elastik dan Metode Ultimit pada Struktur Beton Konvensional.

Pendahuluan

Pada dasarnya perencanaan gedung tahan gempa bertujuan untuk mendapatkan struktur gedung dan fasilitasnya mampu menaham beban gempa bumi yang datang dari sembarang arah dan mampu pula berfungsi secara baik dan aman serta ekonomis. Teknik perencanaan telah mengalami perkembangan sejalan dengan kemajuan umat manusia. Pengetahuan yang diperoleh dari teori, analisis, penelitian dan pengamatan lapangan kini telah dituangkan ke dalam peraturan bangunan yang praktis, sehingga dapat diterapkan oleh para perencana dan pejabat bangunan dalam melaksanakan tugasnya. Penerapan peraturan bangunan secara tepat sesuai dengan maksudnya tentu akan dapat menghasilkan bangunan yang aman dengan biaya pembangunan yang layak bagi manusia.

Seni perencanaan bangunan telah dan sedang mengalami perubahan yang sangat pesat selama dasa warsa terakhir ini. Kemajuan di bidang teknologi komputer telah mempengaruhi peraturan bangunan di negara-negara maju. Penyesuaian dengan perkembangan tersebut terus menerus dilakukan. Di luar negeri, peraturan bangunan mengalami juga perubahan yang cepat dengan adanya peninjauan ulang secara berkala.

Suatu peraturan seyogyanya tidak membatasi para perencana untuk memakai bahan-bahan, metode perhitungan, metode pelaksanaan dan konsep-konsep yang baru sepanjang dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Dinamisme di dalam penerapan peraturan diperlukan agar dapat mendorong perkembangan peraturan itu sendiri.

Besar beban gempa untuk perencanaan suatu gedung dapat ditentukan berdasarkan hasil rekaman gempa bumi yang sesungguhnya atau menurut peraturan gempa yang berlaku. Beban gempa yang disyaratkan dalam peraturan merupakan beban gempa yang minimum.

Perencanaan Tahan Gempa menurut Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG) 1983

Di dalam uraian berikut ini disajikan hanya beberapa catatan yang dianggap penting berkaitan dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Dalam peraturan ini, besar beban gempa ditentukan berdasarkan gaya geser dasar gempa ("base shear") yang dapat dihitung jika telah diketahui waktu getar alami gedung dan wilayah gempa tempat gedung akan berdiri. Pada analisis Beban Statik Ekuivalen, gaya geser dasar gempa tersebut dibagikan sepanjang tinggi gedung menjadi beban-beban horisontal terpusat yang bekerja pada taraf lantai tiap tingkat berdasarkan rumus yang terdapat pada pasal 3.4.6. Garis kerja beban-beban horisontal ini diletakkan pada titik pusat massa setiap lantai. Untuk memperhitungkan pengaruh momen puntir tingkat, perlu diperiksa eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan pada setiap lantai. PPTGIUG 1983 mengisyaratkan penggunaan eksentrisitas rencana yang nilainya dikaitkan dengan perbandingan antara eksentrisitas sebenarnya (teoritis) dengan lebar gedung. Lebar gedung dimaksud bukanlah lebar di atas denah gedung, tapi ukuran gedung pada arah tegak lurus gaya gempa yang ditinjau.

Menurut peraturan ini momen puntir yang dipakai untuk perencanaan terdiri dari 2 bagian yaitu:

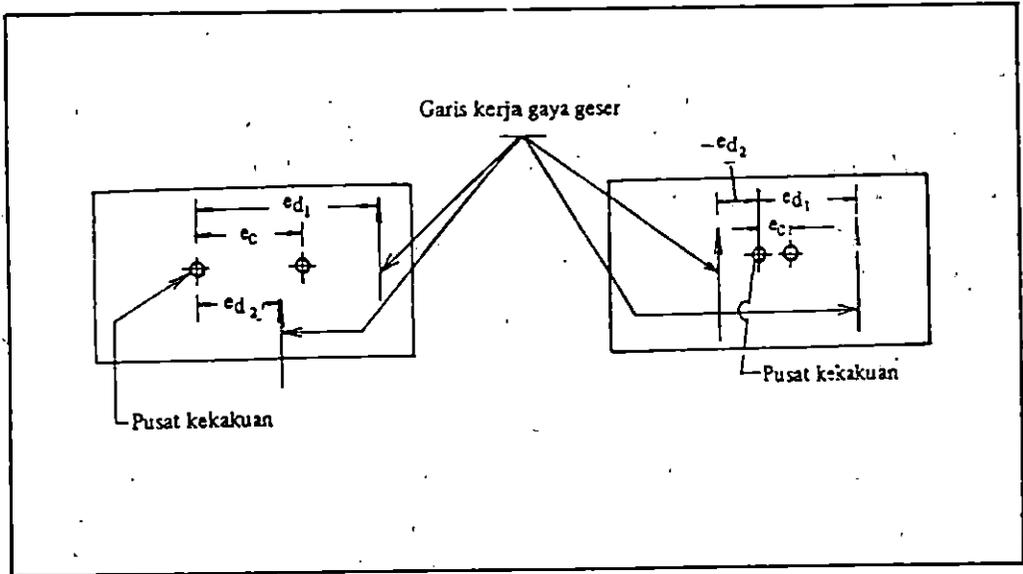
- a) Momen puntir tingkat yang diakibatkan oleh eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan dalam arah tegak lurus arah gempa,
- b) Momen puntir tak terduga akibat eksentrisitas tambahan sebesar $0,05b$ atau $0,1b$ tergantung besarnya eksentrisitas teoritis (b adalah ukuran horisontal terbesar denah lantai yang ditinjau).

Bila dilihat dari segi mekanika teknik, pengaturan momen puntir seperti tersebut di atas untuk suatu bangunan bertingkat banyak sesungguhnya agak kurang jelas. Pengaturan semacam ini akan lebih cocok untuk bangunan bertingkat satu, yang tidak terdapat pelat di atas dan di bawahnya, yang dapat mempengaruhi rotasi dari lantai yang ditinjau. Konsep yang dipakai di dalam buku peraturan mumi berarti perhitungan ini dilakukan secara 2 dimensi dan bangunan tersebut dihitung untuk 2 arah orthogonal secara terpisah. Gambar 1 menunjukkan alternatif letak gaya geser tingkat terhadap pusat kekakuan berikut dengan eksentrisitas-eksentrisitas rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan.

Sedangkan gambar 2 diperlihatkan denah struktur gedung yang berputar akibat momen puntir horisontal, semakin besar simpangan yang terjadi semakin besar pula tuntutan daktilitasnya. Faktor daktilitas dalam perencanaan struktur gedung bertingkat yang berperilaku daktil merupakan hal penting yang harus diperhatikan (gambar 3).

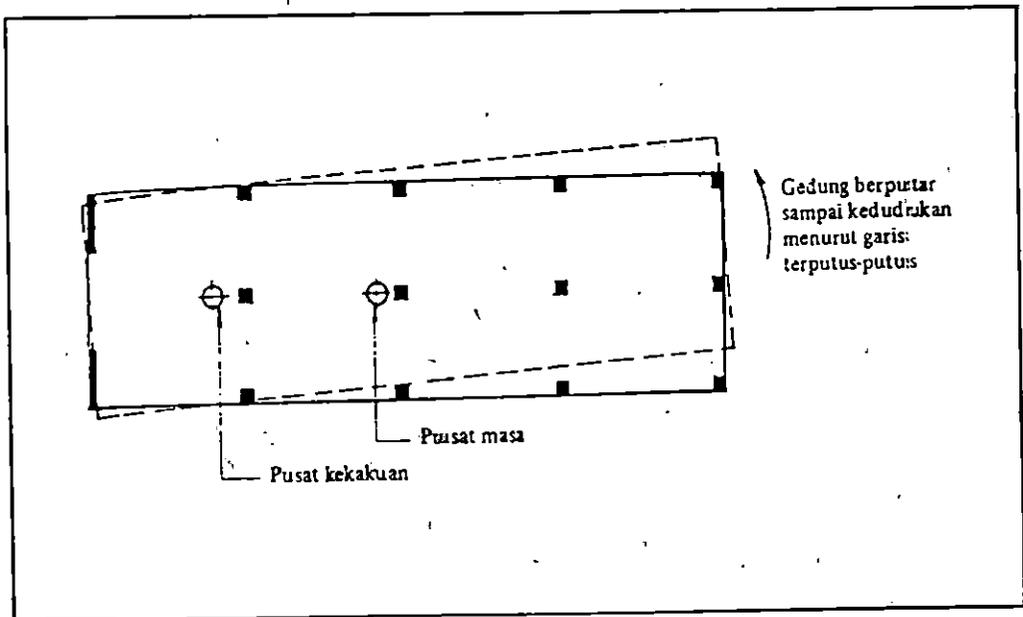
Gambar 1 :

Letak garis kerja gaya geser terhadap pusat kekakuan.

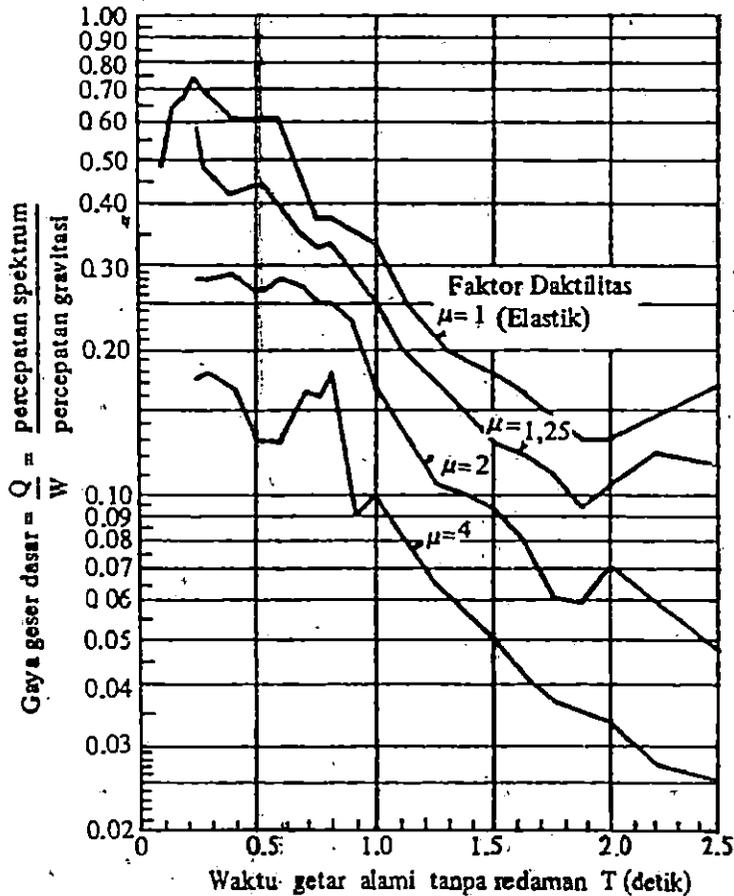


Gambar 2 :

Denah struktur gedung yang berputar akibat momen puntir.



Gambar 3 :
Spektrum percepatan untuk sistem elasto-plastis dengan 10% redaman kritis pada gempa El Centro 1940.



Sedangkan Cara Analisis Dinamik yang dikemukakan dalam peraturan tersebut yakni cara ragam spektrum respons dan analisis respons riwayat waktu bertujuan untuk mendapatkan gaya geser tingkat akibat gempa bumi secara lebih teliti. Pada analisis ragam spektrum respons, masukan gempa berbentuk kurva spektrum gempa, dan jumlah gaya geser yang timbul pada semua tingkat akibat spektrum gempa tersebut tidak boleh kurang dari 90% gaya geser dasar statik menurut pasal 3.4.1. Gaya

geser dasar gempa diijinkan 10% lebih kecil disebabkan karena cara analisis dinamik akan menghasilkan distribusi gaya gempa yang lebih realitis. Analisis respons riwayat waktu akan menghasilkan riwayat dari gaya geser tingkat yang terjadi pada setiap interval realitis. Analisis respons riwayat waktu akan menghasilkan riwayat dari gaya geser tingkat yang terjadi pada setiap interval waktu. Masukan gempa ini berbentuk riwayat waktu dari percepatan gempa bumi. Dari riwayat gaya geser tingkat

tersebut dapat dipilih beberapa kondisi pada waktu yang berbeda, yang gaya gesernya maksimum. Hal ini dimungkinkan karena analisis ini menghasilkan gaya geser semua tingkat pada setiap interval waktu.

Selanjutnya gaya geser tingkat tersebut dikonversikan menjadi gaya-gaya statik horisontal yang bekerja pada pusat massa lantai (setelah eksentrisitas rencana diperhitungkan). Untuk memperoleh gaya-gaya dalam ("internal forces") elemen-elemen struktur, maka perlu dilakukan analisis struktur secara statik, baik 2 dimensi maupun 3 dimensi, dengan beban berupa gaya-gaya horisontal tadi.

Sesungguhnya dalam analisis dinamik, gaya-gaya dalam elemen dapat langsung dihitung secara dinamik pula. Mula-mula anjakan ujung elemen ("elemen end displacements") akibat pengaruh tiap ragam getar ("mode") dihitung. Kemudian hasil perkalian antara matriks kekakuan elemen dengan anjakan ujung elemen tersebut akan memperoleh gaya-gaya ujung elemen ("elemen end actions") akibat pengaruh tiap ragam getar. Selanjutnya gaya-gaya ujung elemen aktual dapat diperoleh dengan melakukan kombinasi gaya-gaya ujung elemen pada setiap ragam getaran. Gaya-gaya ujung elemen dari hasil kombinasi ini merupakan gaya-gaya yang dapat dipakai untuk desain penampang elemen. Cara perhitungan semacam ini akan memberikan hasil yang lebih teliti jika dibandingkan dengan cara yang dikemukakan dalam PPTGIUG 1983 yakni dengan analisis statik terhadap gaya-gaya horisontal yang diperoleh dari analisis dinamik.

Penerapan metode analisis dinamik yang perlu dikombinasikan dengan cara statik dalam PPTGIUG 1983 dapat

dimengerti mengingat peraturan tersebut digarap antara tahun 1978-1979. Pada saat itu, fasilitas komputasi masih sangat terbatas, sehingga tidak memungkinkan analisis dinamik secara lengkap hingga memperoleh gaya-gaya elemennya dapat dilakukan.

Definisi Arah Utama ("Principle Axis")

Dalam PPTGIUG 1983, istilah arah utama gedung dan arah tegak lurus arah utama tersebut tidak dirinci secara jelas apa maksudnya. Selama ini arah sumbu-sumbu simetris gedung sering dianggap arah utama gedung. Kalau suatu gedung mempunyai 2 sumbu simetris, misalnya gedung yang denahnya berbentuk persegi panjang, maka gedung tersebut mempunyai 4 sumbu simetris yang berarti ada 4 arah utama gedung. Apabila denahnya bundar, maka arah utama gedung adalah tak terhitung banyaknya. Anggapan ini masih mungkin dipakai apabila ditinjau dari segi analisis statik saja. Dengan demikian timbul pertanyaan:

- a) bagaimana menentukan arah utama gedung, bila gedung tidak mempunyai sumbu simetris?
- b) apabila denah gedung simetris, tetapi letak massa lantainya tidak simetris, apakah arah utama gedung masih sama seperti arah sumbu simetris?

Berdasarkan studi terhadap bentuk ragam getar 3 dimensi telah diketahui beberapa sifat dinamik gedung. Bila gedung diberikan anjakan ("displacements") sesuai dengan bentuk ragam getarnya, maka akan dapat dihitung resultante dari semua gaya reaksi pada dasar gedung. Resultante gaya reaksi ini mempunyai komponen yaitu, gaya reaksi pada arah X, Y, dan Z serta momen terhadap sumbu X, Y, dan Z. Besaran nilai

gaya dan momen reaksi ini tidak penting, karena sesungguhnya anjakan pada bentuk ragam getar itu nilainya relatif. Tetapi justru perbedaan nilai relatif gaya dan momen reaksi ini mempunyai arti yang sangat penting.

Berdasarkan vektor gaya reaksi arah X dan arah Y, dapat diketahui arah reaksi horisontal yang terjadi apabila gedung diberikan anjakan seperti bentuk ragam getarnya. Arah reaksi horisontal ini membentuk sudut tertentu dengan sumbu X dan Y, dan merupakan nilai yang khas untuk setiap ragam getar. Sudut ini sebenarnya menunjukkan arah ragam getar yang bersangkutan. gaya reaksi arah Z selalu bernilai nol, karena gaya reaksi vertikal akan saling menghilangkan.

Jumlah vektor momen terhadap sumbu X dan sumbu Y, apabila dibagikan dengan reaksi horisontal gedung akan menghasilkan suatu nilai yang merupakan tinggi titik kerja resultante gaya inersia untuk ragam getar yang bersangkutan. Nilai tinggi ini akan memberikan indikasi apakah ragam bersangkutan lebih besar kontribusinya untuk momen guling ("overturning moment") atau untuk geser. Nilai tinggi yang besar menunjukkan bahwa ragam tersebut memberikan kontribusi yang besar untuk momen guling gedung.

Apabila reaksi momen terhadap sumbu Z yang vertikal dibagikan dengan gaya reaksi horisontal tadi akan diperoleh suatu nilai yang merupakan jarak radial. Jarak radial yang besar menunjukkan bahwa kontribusi ragam yang bersangkutan terhadap torsi akan besar, dan sebaliknya.

Kenyataan bahwa setiap ragam mempunyai arah yang khas menunjukkan bahwa arah-arah ini merupakan arah-arah utama gedung. Bila suatu gempa diberikan

sesuai dengan arah salah satu ragam getarnya, maka sifat-sifat ragam tersebut akan lebih ditonjolkan. Misalnya, gempa yang arahnya sama seperti arah ragam yang mempunyai kontribusi torsi yang besar akan menghasilkan respons torsi yang lebih besar pula.

Namun perlu diperhatikan pula faktor massa efektif yang bekerja pada setiap ragam ("mode"). Bila faktor massa efektif ini kecil, maka besarnya massa yang dimobilisasi ragam ini juga akan besar sekali. Jadi, meskipun kontribusi torsi ragam yang bersangkutan besar sekali, tapi massa yang dimobilisasi kecil, maka kontribusi akhir ragam tersebut akan kecil.

Berdasarkan kenyataan bahwa ragam getar pertama mempunyai faktor massa efektif yang terbesar, maka arah ragam getar pertama ini biasanya dianggap sebagai arah utama gedung. Arah ragam kedua umumnya berselisih sudut kurang lebih 90 derajat dengan arah ragam yang pertama.

Dengan menganggap bahwa arah ragam getar pertama sama seperti arah utama gedung, maka bentuk gedung yang simetris atau tidak, beraturan atau tidak, tidak menjadi masalah lagi. Dengan mempelajari sifat-sifat ragam getar ini pada saat awal fase perencanaan, maka suatu gedung yang secara geografis tidak beraturan akan dapat diubah menjadi gedung yang secara dinamik beraturan, yakni gedung yang model kopelnya kecil.

Mengapa perlu kombinasi 100% gempa arah utama dengan 30% gempa arah tegak lurus arah utama dalam pasal 3.3.2 ?

Analisis dinamik dalam PPTGIUG 1983, karena secara 2 dimensi, akan menghasilkan 1 set gaya geser pada arah

gempa saja. Jika masukan gempa diberikan sesuai dengan arah X, maka hanya diperoleh gaya geser tingkat ("storey shears") pada arah X itu saja. Untuk mendapatkan gaya geser tingkat akibat gempa arah Y, perlu dilakukan lagi analisis dinamik dengan masukan gempa pada arah Y tersebut. Untuk memperhitungkan arah gempa yang datangnya dari arah sembarang, bukan dari arah X ataupun arah Y, cara penyelesaian yang diberikan PPTGIUG 1983 adalah dengan melakukan kombinasi statik antara 100% gaya geser tingkat akibat gempa pada arah utama dan 30% gaya geser tingkat yang timbul akibat gempa pada arah tegak lurus arah utama tadi, atau sebaliknya. Jadi aturan ini tidak memberikan cara pemecahan secara dinamik untuk arah gempa yang sembarang ini.

Dengan mengkonversi gaya-gaya geser ini menjadi gaya statik horisontal ("equivalent static horizontal loads") yang bekerja setiap tingkat, maka gaya-gaya dalam setiap elemen struktur dapat dihitung dengan analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi. Nilai maksimum dari kedua kombinasi tersebut diperkenankan untuk dipakai pada perencanaan elemen-elemen vertikal gedung. Jadi perlu diketahui bahwa yang dikombinasikan adalah gaya-gaya statik horisontal dari hasil analisis dinamik 2 dimensi akibat gempa bumi, bukan beban gempa yang bekerja secara bersamaan pada dua arah yang saling tegak lurus.

Beban gempa yang bekerja serentak pada 2 arah yang saling tegak lurus adalah ekuivalen dengan masukan gempa yang merupakan jumlah vektor kedua gempa yang bekerja serentak itu. Sesungguhnya gedung harus dirancang mampu memikul gempa yang datangnya dari sembarang arah, bukan hanya beban gempa dari 2 arah yang

saling tegak lurus yang bekerja bersamaan.

Untuk memperhitungkan gempa yang arahnya sembarang ini (atau dikenal dengan istilah "orthogonal effect" pada UBC/"Uniform Building Code" 1988), cara yang dikemukakan dalam PPTGIUG 1983, yakni kombinasi 100% respon gempa pada arah utama dengan 30% respon gempa pada arah tegak lurus arah utama, sesungguhnya merupakan superposisi gaya geser gempa yang ditinjau secara statik. Bila dilakukan analisis statik 3 dimensi, maka gaya geser gempa penuh (100%) harus dianggap bekerja pada salah satu arah utama dan pada arah tegak lurus arah utama tadi bekerja gaya geser sebesar 30%, atau sebaliknya.

Dalam analisis dinamik 3 dimensi, cara kombinasi 100% gempa arah utama ditambah 30% arah tegak lurusnya atau sebaliknya juga dapat dilakukan, tetapi pada hanya tingkat pencarian gaya-gaya elemen. Analisis dinamik 3 dimensi harus dilakukan terhadap 2 beban gempa saling tegak lurus, yang salah satu diantaranya pada arah utama gedung. Kedua beban gempa ini harus dianggap bekerja tidak bersamaan ("non-concurrent"). Selanjutnya gaya-gaya elemen dari hasil analisis terhadap kedua beban gempa ini dapat dijumlahkan dengan satu diantaranya dianggap bekerja 100% dan yang lain bekerja 30% saja, atau sebaliknya. Hasil kombinasi yang paling berbahaya dipakai untuk dasar perencanaan.

Cara kombinasi ini adalah cara pendekatan guna memperoleh gaya rencana elemen vertikal yang cukup besar pada kedua as elemen vertikal, sehingga kalau gaya rencana demikian dipakai dalam perencanaan penampang, maka diharapkan elemen vertikal tersebut akan kuat memikul beban gempa rencana yang datangnya dari

sembarang arah. Dasar teori ini memang belum ada dan baru merupakan suatu pemikiran untuk diteliti lebih lanjut. Dengan cara ini masih mungkin diperoleh gaya-gaya elemen yang bukan merupakan harga maksimum, kecuali kalau semua arah utama (arah ragam getar) telah ditinjau. Ini berarti analisis harus dilakukan berulang-ulang dengan beban gempa pada arah utama yang berbeda-beda.

Diperlukannya analisis berulang-ulang seperti dikemukakan di atas dapat ditunjukkan dengan mempelajari respon suatu struktur gedung sederhana yang terdiri dari 2 lantai dengan denah berbentuk bujur sangkar serta hanya mempunyai 4 buah kolom di pojok-pojoknya. Bila struktur ini dianalisis hanya terhadap arah X dan Y saja, yang merupakan arah utama gedung, kemudian hasil kombinasi 100% gaya-gaya kolom akibat gempa arah X dengan 30% gaya-gaya kolom akibat gempa arah Y atau sebaliknya digunakan dalam perencanaan, maka luas tulangan yang diperoleh untuk kolom tersebut pada ujung tertentu dapat lebih kecil daripada luas tulangan yang diperoleh dari perhitungan terhadap kolom yang sama akibat gempa rencana yang bekerja pada arah diagonal.

Suatu cara yang lebih tepat dan lebih aman adalah dengan mencari rata-rata kuadrat (SRSS/"Square Root of the Sum") hasil yang diperoleh dari analisis dinamik terhadap 2 gempa yang saling tegak lurus yang bekerja secara tidak bersamaan tadi. Dengan kombinasi SRSS ini, akan diperoleh gaya-gaya yang paling maksimum yang seolah-olah merupakan selubung ("envelop") gaya dimana gaya yang timbul akibat gempa rencana dari arah manapun gempa bekerja tidak akan melampaui nilai

selubung tersebut. Cara ini sudah diterapkan dalam UBC 1988, dan cara kombinasi 100% ditambah 30% tadi lambat laun akan ditinggalkan, karena dasarnya tidak jelas.

Pengaruh Letak Titik Pusat Massa

Dalam analisis dinamika secara 2 dimensi, massa gedung umumnya dianggap sebagai "lumped mass" yang terletak pada level lantai. Letak titik pusat massa tidak berpengaruh terhadap hasil analisis dinamik gedung, karena hanya komponen translasi pelat lantai yang diperhitungkan. Tetapi apabila dilakukan analisis dinamik 3 dimensi, maka letak pusat massa akan mempengaruhi hasil analisis. Massa pelat lantai gedung dalam analisis dinamik 3 dimensi terdiri dari 3 komponen yaitu 2 buah "lumped mass" untuk 2 arah translasi (misalnya arah X dan Y) serta "mass moment of inertia" untuk rotasi pelat lantai terhadap sumbu vertikal yang melalui pusat massa. Perubahan letak titik pusat massa akan mempengaruhi besarnya nilai momen inersia massa. Hal ini akan mempengaruhi besarnya waktu getar bangunan.

Dalam PPTGIUG 1983, titik pusat massa merupakan titik berat dari semua beban gravitasi yang bekerja di atas lantai (level) yang ditinjau, jadi titik pusat massa adalah titik berat kumulatif. Letak titik pusat massa harus ditinjau kumulatif, karena letak titik pusat kekakuan ("centre of rigidity") ini merupakan titik tangkap gaya geser tingkat yang juga merupakan nilai kumulatif gaya-gaya inersia.

Dalam analisis dinamik 3 dimensi, titik pusat massa lantai harus merupakan titik berat lantai yang bersangkutan saja, dan bukan titik berat kumulatif. Sedangkan titik pusat kekakuan disini merupakan

"centre of stiffness", yakni titik tangkap gaya terkandung dalam matriks kekakuan lateral gedung.

Mengingat analisis dinamika 3 dimensi adalah cara yang jauh lebih teliti bila dibandingkan dengan cara 2 dimensi yang dikemukakan PPTGIUG 1983, maka perhitungan titik pusat massa harus lebih mencerminkan keadaan sebenarnya. Karena pergeseran pusat massa akan mempengaruhi waktu getar bangunan, maka besarnya pergeseran harus dikaitkan dengan cara penempatan beban hidup yang mungkin terjadi, sehingga waktu getar yang diperoleh dari hasil perhitungan terletak pada suatu jangkauan nilai yang wajar, yang betul-betul dapat terjadi pada bangunan tersebut. Untuk memperhitungkan pengaruh momen puntir tak terduga yang tidak boleh diabaikan, maka momen puntir tersebut dapat dihitung secara statis sampai ditemukan cara yang lebih tepat. Besarnya momen puntir tak terduga pada tiap lantai merupakan hasil kali gaya inersia lantai dengan 5% atau 10% dari ukuran terbesar bangunan. Penanganan puntir tak terduga dengan cara ini adalah lebih relevan dan tidak akan mempengaruhi respons dinamik bangunan.

Kesimpulan

Dari uraian tersebut di atas dapat diambil beberapa kesimpulan penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan gedung tahan gempa:

1. seni perencanaan bangunan dan fasilitas komputasi telah dan sedang mengalami perubahan yang sangat pesat selama dasa warsa terakhir, sehingga peninjauan ulang secara berkala terhadap peraturan perencanaan perlu dilakukan agar

hasilnya baik, aman dan ekonomis.

2. pada analisis gedung secara 3 dimensi, biasanya pelat lantai dianggap sangat kaku pada bidangnya. Beban-beban lateral yang bekerja pada taraf pelat lantai akan diteruskan ke kolom dan dinding geser melalui diafragma lantai yang sangat kaku.
3. sesungguhnya pembahasan dalam PPTIUG 1983 tersebut hanya terbatas pada analisis dinamik secara 2 dimensi,
4. istilah gedung tidak beraturan sebetulnya praktis tidak ada, sebab perhitungan secara 3 dimensi tidak mengenal bangunan beraturan atau tidak beraturan, dan secara teoritis hampir segala bentuk bangunan dapat dihitung dengan sama amannya.

Oleh karena itu agar perencanaan gedung bertingkat banyak tersebut tahan terhadap gaya gempa yang akan terjadi sebaiknya dihitung secara analisis dinamik 3 dimensi. Sebab analisis dinamik dengan model struktur 3 dimensi, selain menghasilkan gaya geser tingkat pada arah gempa yang ditinjau, juga akan memperoleh gaya geser tingkat pada arah tegak lurus arah gempa tersebut, dan torsi pada setiap tingkat.

Catatan:

1. Arah X, Y dan Z adalah arah sumbu koordinat kartesius, dengan sumbu Z dalam tulisan ini dianggap vertikal.
2. Kalau massa adalah konstanta yang berhubungan dengan gaya ("force", satuan: Newton) dan percepatan translasi ("acceleration", satuan: meter per detik kuadrat), maka momen inersia massa adalah konstanta yang berhubungan

dengan gaya puntir ("torque", satuan Newton meter) dan percepatan angular (satuan: radian per detik kuadrat). Semakin besar massa suatu benda, semakin besar pula gaya inersia yang timbul akibat terjadinya percepatan pada benda tersebut. Kalau momen inersia massa suatu benda semakin besar, maka gaya puntir inersia yang terjadi juga akan semakin besar bila benda tersebut mendapat percepatan putar pada porosnya.

Daftar Pustaka

Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung, edisi 1983.

"Uniform Building Code". edisi 1988.

"CSI-ETABS: A Computer Program for the Three-Dimensional Analysis of Building System". Computer and Structures, Inc., Berkeley, California.

Wilson, E. L., Suharwardy, M. I., dan Habibullah, A., "A Seismic Analysis Method Which Satisfies 1988 Lateral Force Requirement", Earthquake Spectra, The Professional Journal of the earthquake Engineering Research Institute, March 1989.

"SAP-90: A General Computer Program for the Three-Dimensional Analysis of Finite element Systems", Computers and Structure, Inc., Berkeley, California.

"ACI 318-88, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-88)", American Concrete Institute.