

Desain Gedung Tinggi Beton Bertulang Tahan Gempa

Oleh : Dradjat Hoedajanto



Dr. Ir. Dradjat Hoedajanto, lahir di Bandung pada tahun 1944. Alumnus Fak. Teknik Sipil ITB (1971) dan program S-2 dalam Bidang Struktur diselesaikan di ACT Bangkok (1974) dan tahun 1983 menyelesaikan program Doktor di UOF Illinois USA. Selain sebagai dosen tetap pada Fak. TSP ITB ia juga sebagai konsultan sejak dari tahun 1971 sampai dengan sekarang, Ketua Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia.

Pendahuluan

Desain dari Gedung Tinggi Beton Bertulang Tahan Gempa di Indonesia "diatur" oleh dua standar yaitu SNI Gempa - 1989 [1] dan SNI Beton - 1991 [2]. Keduanya, secara gabungan, memberikan tuntunan dasar mengenai (a) Konsep dan Kriteria Desain, dan (b) Beban Desain yang telah cukup dikenal dan dibicarakan secara terbuka. Hal yang diangkat pada kesempatan ini adalah hal yang berkaitan dengan Desain Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan kriteria tambahan khusus, TINGGI. Kriteria tambahan ini secara tidak langsung memberikan masalah khusus bagi perencanaan Indonesia, karena dalam khasanah istilah teknik konstruksi yang ada di Jakarta, kata Gedung Tinggi pada saat ini umumnya dikaitkan dengan gedung yang mempunyai lapis di atas 50 lantai. Dalam hal ini pengalaman yang ada di Indonesia saat ini dapat dikatakan masih

sangat terbatas dan belum dicakup dengan baik dalam rekomendasi pada Standar yang berlaku, termasuk belum jelasnya ketentuan mengenai beban gempa desain yang harus digunakan. Dalam SNI Gempa - 89 respon spektra desain yang ada hanya mencakup ketentuan mengenai beban desain untuk gedung dengan periode dasar hingga 3 detik. Padahal gedung di atas 50 lantai kemungkinan besar akan mempunyai periode dasar di atas 3 detik, dan bahkan untuk sistem struktur yang "normal" umumnya periode dasarnya akan mendekati 5 detik ke atas. Juga aspek 3 Dimensi dari masalah desain kurang dibahas secara mendetail karena ketentuan yang ada masih banyak "diarahkan" pada upaya untuk mengakomodasikan metoda analisis 2 Dimensi.

Hal penting yang perlu dipegang agar langkah desain Gedung Tinggi Beton Bertulang Tahan Gempa dapat berjalan ke

arah yang benar antara lain adanya pengertian yang baik mengenai :

1. Gempa dan gerakan tanah akibat gempa.
2. Konsep dasar respon struktur terhadap beban gempa.
3. Konsep dasar dari perilaku komponen struktur beton akibat gempa.
4. Filosofi dasar dari standar yang dipakai
5. Pengaruh dari ketinggian terhadap gedung dan masyarakat secara keseluruhan.

Karena keterbatasan waktu yang ada dan telah banyaknya bahasan yang berkaitan dengan gempa dan perilaku dasar dari komponen beton bertulang terhadap beban gempa, maka pada kesempatan ini perhatian utama dari bahasan ditujukan pada masalah yang berkaitan dengan karakter khusus yang mewarnai pengaruh dari ketinggian gedung yang didesain.

Konsep Desain

Masalah utama yang dihadapi dalam mendesain Gedung sangat tinggi adalah mengupayakan agar gedung tersebut mempunyai *Kekuatan, Kekakuan, dan Stabilitas* yang cukup terhadap segala kemungkinan kombinasi beban yang bekerja. Khusus untuk gedung tahan gempa, persyaratan lain yang umumnya dijadikan pegangan adalah mengupayakan agar komponen struktural gedung mempunyai *daktilitas* yang cukup agar mampu menahan gempa maksimum tanpa runtuh. Struktur gedung dalam hal ini dinamakan didesain dengan berdasarkan *Life safety concept* dan memberikan respon secara detail penuh. Perencanaan detail dari komponen struktur kemudian dilaksanakan berdasarkan konsep *Desain Kapasitas*.

Struktur tahan gempa

Walaupun konsep *Desain Kapasitas* dapat dikatakan suatu konsep desain struktur tahan gempa yang diterima oleh hampir semua pihak, terdapat perbedaan yang cukup berarti antara konsep yang dianut oleh New Zealand, dan Amerika, terutama yang berkait dengan masalah "tingkat keamanan" Umum dikenal bahwa konsep desain struktur tahan gempa yang diangkat oleh New Zealand lebih rasional dan konsep yang dipakai oleh Amerika (termasuk Jepang) banyak didasarkan pada hasil studi empirik New Zealand menyampaikan pandangannya bahwa konsep desain yang dianut oleh Amerika tingkat keamanannya masih rendah dan perlu ditingkatkan agar tidak terjadi keruntuhan yang membahayakan.

Adanya perbedaan yang serius seperti tersebut di atas mendorong adanya studi bersama yang secara tuntas berupaya untuk mempelajari kekurangan dan kelebihan masing-masing konsep desain. Studi perbandingan tadi dilaksanakan dengan melakukan test terhadap specimen-specimen yang sengaja dibuat sama dimensinya, tetapi berbeda detail penulangan. Aoyama [3] melaporkan bahwa :

1. Semua specimen yang dibuat (detail dilaksanakan berdasarkan Code masing-masing) dibebani berdasarkan kriteria beban yang sama.
2. Walaupun specimen New Zealand menunjukkan hasil yang memuaskan terhadap beban maksimum yang diberikan, mereka juga harus mengaku bahwa specimen Amerika dan Jepang yang detailnya tidak memenuhi kriteria desain mereka dan juga dibebani dengan

beban yang sama mampu menunjukkan perilaku yang memuaskan.

Hasil ini menyukarkan New Zealand yang sebelumnya secara aktif mempromosikan konsep desain yang dianutnya. Perbedaan utama antara konsep New Zealand dan Amerika terletak pada metoda penghitungan tulangan baja yang diperlukan untuk menjamin terciptanya konsep Kolom-Kuat-Balok-Lemah. Konsep New Zealand menghasilkan tulangan yang lebih banyak, yang secara langsung berarti lebih mahal. Mengingat Indonesia pada dasarnya mengikuti secara terbatas rekomendasi New Zealand, hasil studi di atas perlu dikaji dengan teliti, apalagi dalam penggunaannya untuk mendesain gedung yang sangat tinggi.

Gedung tinggi tahan gempa

Untuk mendapatkan respon yang baik, syarat utama yang harus dipenuhi adalah agar struktur gedung tadi sejak awal sudah dirancang sedemikian hingga mampu mengantisipasi beban yang ada, terutama pengaruh beban lateral, dan berfungsi sesuai yang diharapkan¹. Beberapa kunci utama yang perlu diperhatikan dalam mencari konsep struktur yang baik adalah :

1. Mengupayakan agar fundamental modes yang ada tidak berdekatan (tidak terjadi "coupling" dari "response"). Hal ini dicapai antara lain dengan mengambil langkah agar pada tiap lantai didapat suatu kontinuitas vertikal yang teratur. Bila pada bagian tertentu ada komponen vertikal yang harus dihilangkan karena kebutuhan non struktural, fungsi dari komponen tadi harus digantikan dengan komponen lain (ditambahkan) sehingga didapat hasil akhir yang baik.
2. Mengupayakan konsep struktur yang

"sederhana", flow of forcesnya. Misalnya konsep "tubes", outrigger frames", "perimeter bracings", "kombinasi "core" dan "frame", dan sebagainya.

3. Memikirkan kemudahan pelaksanaan, termasuk pemilihan material struktur. Untuk gedung sangat tinggi data yang didapat dari beberapa proyek menunjukkan bahwa sistem kolom komposit merupakan solusi yang terbaik dan termurah untuk mengatasi keterbatasan kekuatan beton yang langsung dibebani oleh ketinggian gedung tersebut. "Very high strength concrete", walaupun sudah mungkin (di laboratorium) dan sudah dilaksanakan (di luar negeri, misalnya USA), masih belum praktis untuk diadopsi di Indonesia terutama karena keterbatasan kualitas bahan yang ada.
4. Analisis struktur dengan software komersial yang ada perlu dilaksanakan dengan sangat hati-hati. Bagaimanapun pameo GIGO - "Garbage In Garbage Out" masih berlaku. Perencana struktur perlu mengetahui keterbatasan dari software yang digunakan, terutama bila menggunakan metoda Elemen Hingga, dan juga analisis non-linear. Output yang dihasilkan perlu "diperiksa" dengan seksama, baik terhadap kemungkinan kesalahan input maupun kemungkinan kesalahan yang diakibatkan oleh asumsi yang diambil oleh software yang dipakai.
5. Khusus untuk analisis terhadap beban gempa, perlu dipahami konsep dasar

1. Sesuai konsep desain yang diambil, apakah didesain dengan konsep "damage controlled design concept" atau "life safety design concept".

dari pengambilan beban dan ketentuan ketentuan lain yang dipakai. Misalnya keterbatasan mengenai pemakaian analisis 2-D untuk bangunan di atas 40 m dan lain lainnya. Tanpa pengertian yang baik dari ketentuan dan rekomendasi Standar yang ada bisa menghasilkan struktur yang tidak jelas posisinya terhadap keamanan yang kita inginkan.

Studi Kasus

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai desain dari Gedung Tinggi Beton Bertulang tahan Gempa, dilakukan bahasan mengenai gedung Zhimizu Super High-Rise setinggi 550 m yang telah didesain oleh Zhimizu Corporation di Tokyo. Langkah ini diambil karena terbatasnya informasi dan data aktual yang ada. Juga sekaligus langkah ini memberikan kesempatan kepada kita untuk mempelajari konsep-konsep dasar yang diterapkan oleh team ahli (*350 orang engineers full time yang dikepalai oleh Prof. M. Watabe, bekerja selama 2 tahun*) yang bukan hanya mendasarkan pilihan desainnya pada Code yang ada (*karena belum ada Code yang mengatur gedung super tinggi*) tetapi juga didasarkan pada penelitian dan diskusi dengan masyarakat dan pimpinan pemerintah setempat.

Shimizu super high-rise building

Shimizu Super High-Rise adalah gedung yang akan dibangun oleh Zhimizu di pinggiran kota Tokyo. Gedung ini direncanakan mempunyai ketinggian akhir 550 m dan direncanakan selesai dibangun pada tahun 2005. Saat ini yang telah selesai dilaksanakan adalah Pekerjaan Desain dan

studi prototype pelaksanaan yang direncanakan menggunakan teknik "robotic" penuh. Deskripsi dari proyek secara detail dapat dilihat pada Appendix A. Bahasan berikut merupakan evaluasi konseptual berkaitan dengan pola desain yang diambil.

Sistem struktur

Desain dan analisis dilakukan secara full time oleh team engineers selama dua tahun, dengan biaya total lk. US \$ 50.000.000.00. Analisis dinamik dilakukan baik secara elastik maupun secara inelastik dengan menggunakan super computer. "Run time" dari satu kali analisis dinamik inelastik dengan super komputer setingkat Cray tersebut mencapai dua hari. Desain akhirnya sepenuhnya menggunakan analisis elastik.

Komponen vertikal secara konsep dibagi dalam tiga zona. Makin ke atas makin kecil. Konsep ini sesuai dengan hasil studi yang menunjukkan bahwa konsep bangunan sangat tinggi yang paling efisien didapat pada sistim struktur yang mengecil keatas (*terhadap beban lateral*).

Pengaturan ruangan dibuat simetris, dengan tujuan utama menghindarkan terjadinya coupling antar mode responses yang berdekatan. Konsep struktur yang didesain sekaligus terhadap beban angin (*angin topan*) dan beban gempa artificial maksimum (*8M dengan jarak 200 km*). Terlihat konsep respon bangunan terhadap beban lateral sangat diperhatikan, dan bahkan merupakan kunci utama dari konsep struktur yang ada. Konsep perlawanan terhadap beban lateral dinamik ditumpukan pada sistem kombinasi antara "tube action" dengan "perimeter truss bracing system"

("Trussed Tube system"). Kolom menggunakan penampang komposit, antara beton dengan kekuatan 60 Mpa dengan Baja profil mutu tinggi. Sistem kolom komposit ini (*SRC Columns*) merupakan sistem yang paling efisien. Penggunaan beton komposit ini digabungkan dengan penggunaan "super-lightweight concrete" untuk "extra light floor system".

Beban gempa artificial yang dipakai diturunkan untuk kondisi 8M dan jarak 200 km. Struktur sepenuhnya memberikan respon secara elastik. Analisis yang dipakai menggunakan "analisis time-history", dengan beban selama 500 detik. Fundamental period dari bangunan 1k. 6 detik, dan perilaku dinamik dari struktur dibantu oleh sistem active damper ("Hybrid Mass Damper") yang dipasang nantinya pada puncak bangunan. Kebijakan untuk mengadopsi respon elastik penuh didapat dari hasil diskusi dengan pejabat setempat, yang "mengkhawatirkan" konsep awal yang diajukan Zhimizu yang mendasarkan analisis gempanya pada respon in-elastik. Kelihatannya kekhawatiran akan kemungkinan keruntuhan dari bangunan super tinggi ini sangat besar hingga konsep "ductile struktural response" tidak diterima. Analisis terhadap beban gempa dilakukan dengan memperhitungkan kontribusi dari respon pondasi ("*soil structure interaction*").

Sistem pondasi terlihat sangat kokoh. Hal ini diambil terutama untuk memberikan "pegangan" yang baik terhadap gedung agar mempunyai kestabilan cukup akibat beban lateral dinamik (baik oleh angin maupun gempa). Teknologi diaphragm wall yang dipakai, tebal 4 m, merupakan aplikasi dari

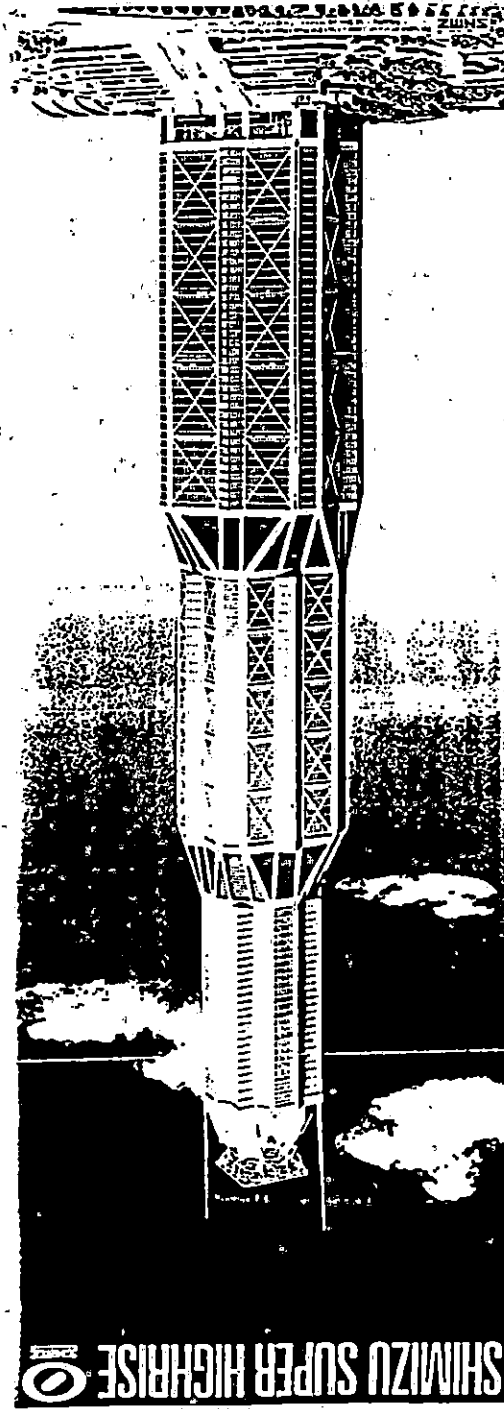
teknik pembuatan tanki bawah tanah yang banyak terdapat di Jepang.

Kesimpulan

Mendesain dan melaksanakan Gedung Tinggi Beton Bertulang Tahan Gempa memerlukan pemikiran, penguasaan teknologi, dan inofasi engineering yang berbobot, terutama bila gedungnya makin tinggi. Hal ini bisa dicapai bila dapat dikombinasikan unsur-unsur teori yang ditunjang dengan penelitian yang mendalam, dengan unsur praktek yang menghasilkan pola konstruksi yang memanfaatkan teknologi yang ada secara optimum. Keseluruhannya bisa berhasil bila ditunjang oleh konsep struktur yang mapan.

Daftar Referensi

- Standar, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung*, SNI-176-1989-F, Departemen Pekerjaan Umum, LPMB, 1989.
- Standar, Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SK SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, Bandung.
- Aoyama, H., "Engineering vs. Rational Approach in Structural Engineering, What We Learned From New Zealand - In the Trilateral Cooperative Research on Beam-Column Joints., Proceedings of the Tom Paulay Symposium, "Recent Developments in Lateral Force Transfer in Buildings", September 20-22, 1993. La Jolla, California.
- Zhimizu Corporation, "Shimizu Super High-Rise", technical leaflet, 1994.



Dradjat Hoedajanto, Desain Gedung Tinggi Beton Bertulang Tahan Gempa

