

PELAKSANAAN KONSTRUKSI BANGUNAN TAHAN GEMPA: PENGALAMAN DARI BENCANA

Biemo W. Soemardi

*Peneliti pada KK Manajemen & Rekayasa Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganessa No. 10, Bandung, 40132, Telp. 022-2502272,
email: b_soemardi@si.itb.ac.id*

Bangunan, khususnya gedung dan rumah tinggal, merupakan prasarana fisik utama yang mutlak bagi manusia modern, yang berfungsi memberikan tempat bagi mereka untuk tinggal maupun berkarya. Di tengah semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan bangunan, tuntutan terhadap bangunan yang layak huni dan handal secara teknis menjadikan keberadaan suatu bangunan merupakan suatu keharusan. Pentingnya bangunan tersebut semakin terasa manakala fungsi bangunan tersebut terganggu atau bahkan hilang sama sekali. Hilangnya fungsi bangunan dapat disebabkan karena ulah manusia itu sendiri atau karena beban alam yang terjadi di luar perkiraan sebelumnya. Dua bencana alam besar yang akhir-akhir ini melanda Indonesia selain mengakibatkan korban jiwa dan harta benda juga menyebabkan tidak berfungsinya banyak prasarana bangunan. Bencana gempa bumi dan tsunami di Aceh dan gempa bumi di Yogyakarta dalam empat tahun terakhir ini telah meruntuhkan banyak bangunan tradisional maupun modern. Salah satu jenis bangunan yang banyak mengalami keruntuhan adalah bangunan modern atau semi-modern yang menggunakan teknologi beton. Berangkat dari hasil evaluasi terhadap kerusakan bangunan yang timbul akibat bencana alam tersebut, makalah ini akan membahas beberapa hal yang berkaitan kegagalan bangunan dalam menahan beban gempa dengan pelaksanaan konstruksi bangunan yang menggunakan bahan beton dan campuran semen, guna mengantisipasi kemungkinan timbulnya bencana serupa di masa mendatang. Makalah ini juga mengulas dan mengkaji kemungkinan penyebab kegagalan struktur bangunan berdasarkan pada tahapan pelaksanaan konstruksi bangunan tersebut, yaitu perencanaan, pengadaan dan pelaksanaan konstruksi.

Kata-kata kunci: konstruksi, gempa, kegagalan bangunan

Pendahuluan

Indonesia adalah suatu negara yang terletak di zona gempa paling aktif di dunia, di mana gempa bumi berukuran lima skala richter ke atas terjadi hampir setiap hari di berbagai pelosok wilayah Indonesia. Pada 27 Mei 2006 yang lalu, gempa bumi dengan kekuatan 6,3 magnitudo pada kedalaman 10 km, berada sekitar 20 km arah Tenggara Selatan dari kota Yogyakarta, telah merusak banyak bangunan dan infrastruktur di wilayah Yogyakarta dan sebagian Jawa Tengah. Menurut laporan BMG gempa ini dirasakan di Yogyakarta pada intensitas VIII MMI (Modified Mercally Intensity). Gempa bumi hebat tersebut terjadi dalam kurun waktu dua tahun setelah gempa hebat lainnya yang mengakibatkan terjadinya tsunami di propinsi Aceh pada akhir tahun 2004. Gempa dan tsunami ini mengakibatkan hilangnya nyawa lebih dari 200.000 orang dan kerusakan yang amat parah pada berbagai infrastruktur fisik seperti jembatan, pelabuhan, dan gedung serta bangunan perumahan.

Serangkaian kegiatan investigasi terhadap berbagai bangunan yang rusak atau hancur akibat gempa di kedua daerah tersebut telah dilakukan oleh berbagai pihak, termasuk tim dari ITB. Selain untuk mengetahui kondisi bangunan, investigasi yang dilakukan oleh tim ITB bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai secara cepat kelayakan bangunan yang dapat dimanfaatkan sementara oleh masyarakat. Dari upaya investigasi ini ternyata banyak hal berharga yang bisa dipelajari. Hasil investigasi ini memberikan petunjuk penyebab kemungkinan terjadinya kegagalan bangunan. Pada kesempatan lain serangkaian survey terhadap upaya pembangunan kembali berbagai fasilitas infrastruktur dan bangunan di Aceh dan Yogyakarta juga telah dilakukan untuk mengetahui praktek pembangunan yang dilakukan oleh kalangan masyarakat.

Secara umum penyebab kegagalan bangunan akibat gempa bumi tidak berbeda dengan kegagalan bangunan lainnya, yaitu yang dapat bersumber pada kesalahan atau kecerobohan dalam perancangan, pengadaan/penyediaan bahan, pelaksanaan konstruksi, atau pun kesalahan dalam memanfaatkan bangunan.

Kemungkinan Kegagalan pada Tahap Perancangan

Sebenarnya sulit menyimpulkan kegagalan suatu bangunan terjadi karena adanya kesalahan atau penyimpangan pada tahap perancangan. Tanpa adanya dokumen rujukan seperti *as-built drawing*, fakta sisa bangunan di lapangan tidak serta merta dapat dikorelasikan dengan adanya penyebab kegagalan di tahap perancangan. Fakta yang melekat pada sisa-sisa bangunan tidak dapat dengan mudah dikaitkan dengan adanya kemungkinan kesalahan atau penyimpangan dalam perancangan. Sebagai ilustrasi pada saat investigasi terhadap bangunan gedung di Yogyakarta, dijumpai beberapa indikasi terdapatnya penyimpangan terhadap spesifikasi standar dari tulangan sengkang yang mengakibatkan runtuhnya kolom. Tentu saja hal ini bisa diakibatkan perancangan yang tidak memperhatikan kebutuhan minimum sengkang untuk beban gempa, ataupun terdapat pengurangan sengkang pada saat pelaksanaan akibat dari keinginan untuk mengurangi biaya sebagai dampak dari praktek penawaran yang ada.

Khusus untuk bangunan non-perumahan yang diinvestigasi di daerah Yogyakarta, pada umumnya berupa gedung yang dibangun pada tahun 1980-an, yang merupakan fasilitas umum berukuran besar. Berdasarkan karakteristik bangunan tersebut diasumsikan proses perancangan dan pelaksanaan konstruksi sepatutnya telah dilaksanakan dan dikendalikan dengan baik. Gedung-gedung tersebut pada dasarnya direncanakan dengan menggunakan peraturan gempa dan beton yang lama (yaitu PBI'71, SNI 03-1726-19892 dan SNI 03-2847-19923). Berdasarkan peraturan ini, bangunan yang berada di zona gempa menengah (zona gempa 4) dapat direncanakan dengan tingkat daktilitas terbatas atau bahkan elastik. Sementara itu bila mengacu pada peraturan gempa yang baru (SNI 03-1726-20024), Yogyakarta berada di zona gempa 3, yang menurut peraturan ini, bangunan yang berada pada zona 3 (dengan resiko gempa menengah) harus direncanakan dengan menggunakan sistem struktur yang memenuhi persyaratan detailing menengah atau khusus; seperti SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) atau SDSB (Sistem Dinding Struktural Biasa). Jadi, bangunan di Yogyakarta seharusnya direncanakan agar memiliki minimum tingkat daktilitas terbatas.

Pada umumnya struktur gedung bertingkat di kota Yogyakarta berupa struktur portal terbuka beton bertulang tanpa dinding geser dengan dinding bata sebagai pengisi. Kerusakan-kerusakan tipikal yang timbul pada struktur-struktur bangunan yang ditinjau dapat dikelompokkan sebagai kerusakan elemen non-struktural, kerusakan elemen struktur sekunder dan kerusakan elemen struktur utama. (Imran dkk, 2006)

Sebagaimana telah dilaporkan oleh Abduh dkk (2007), hasil pengamatan terhadap beberapa kerusakan pada komponen struktural maupun non-struktural bangunan yang yang dapat dikaitkan dengan aspek perancangan memberikan gambaran sebagai berikut:

1. Keberadaan dinding penyekat/pengisi yang kaku dengan rangka pengikat yang lengkap dan memadai yang dapat berfungsi sebagai dinding geser terbukti dapat mengontrol deformasi dan kerusakan yang terjadi. Hal ini sebenarnya sudah sering dibuktikan dari kejadian-kejadian gempa di negara lain. Namun demikian keberadaan dinding penyekat/pengisi yang kaku dengan rangka pengikat yang tidak lengkap atau tidak memadai justru dapat membahayakan penghuni gedung pada saat gempa. Dinding tersebut dapat mengalami keruntuhan total disaat dinding, akibat kekakuannya yang tinggi, menyerap gaya yang jauh melebihi kapasitasnya.
2. Karena keruntuhannya dapat membahayakan lingkungan di sekitarnya, elemen-elemen struktur sekunder penumpu elemen-elemen arsitektural sebaiknya juga dirancang terhadap beban gempa rencana.
3. Desain arsitektur untuk bangunan rawan gempa sebaiknya memperhatikan konsep-konsep struktur tahan gempa. Eksentrisitas antara balok induk dan kolom pada struktur bangunan sebaiknya dihindari. Bila hal ini tidak bisa dihindari, maka *link beam* harus didesain terhadap puntir maksimum yang mungkin terjadi akibat terbentuknya momen plastis pada balok induk yang tidak sentris tersebut. Dalam desain, harus diupayakan agar keruntuhan tidak terjadi pada *link beam* atau kolom. Selain itu, struktur portal bangunan yang memiliki kondisi eksentrisitas tersebut diupayakan agar memiliki kekakuan lateral yang memadai, dengan menambahkan struktur dinding geser yang kaku.
4. Kolom-kolom yang tidak tertahan deformasinya secara penuh disisi-sisinya sebaiknya dihindari untuk mencegah terjadinya fenomena kolom pendek. Walaupun hal ini tidak bisa dihindari, maka solusinya adalah dengan mendesain kolom yang dimaksud terhadap gaya geser yang mungkin timbul akibat terbentuknya momen-momen plastis diujung-ujung kolom yang bebas.
5. Karena kinerja lekatannya yang kurang baik, khususnya dalam menahan beban gempa yang sifatnya bolak-balik, maka disarankan agar tulangan polos tidak digunakan sebagai tulangan utama ataupun tulangan sengkang pada struktur bangunan.
6. Bangunan-bangunan yang memiliki karakteristik dinamik yang berbeda sebaiknya dipisahkan dengan memberi celah yang memadai. Dengan pemisahan ini, kerusakan sobek atau kerusakan “*crushing*” akibat benturan akan dapat dihindari.
7. Beban puntir merupakan salah satu gaya dalam yang juga harus diperhitungkan dalam desain. Dalam kasus-kasus tertentu gaya dalam puntir pada elemen struktur

dapat menjadi gaya dalam yang menentukan hasil desain. Dalam kebanyakan proses desain gaya dalam ini sering diabaikan.

8. Tulangan pengekang pada kolom harus dirancang sesuai persyaratan/ peraturan perencanaan yang berlaku. Tanpa tulangan pengekang yang memadai, struktur kolom bangunan dapat mengalami keruntuhan yang dapat memicu keruntuhan total bangunan.
9. Persyaratan tulangan pengekang yang ketat pada peraturan perencanaan untuk kolom persegi pada umumnya lebih ditekankan pada kebutuhan pengekangan diujung atas dan bawah kolom. Untuk kolom dengan potensi kegagalan aksial atau tekuk, persyaratan pengekangan perlu ditetapkan untuk seluruh bagian kolom.
10. Perencanaan struktur dengan dinding pengisi dari bata umumnya dilakukan dengan mengabaikan kontribusi dinding pengisi terhadap kekakuan maupun kekuatan sistem. Metode ini memang membuat proses perencanaan menjadi jauh lebih sederhana, tetapi dari pengamatan kerusakan yang terjadi, metode ini banyak menimbulkan masalah diantaranya:
 - a. Kekakuan sistem struktur portal dengan dinding pengisi jauh lebih besar daripada kekakuan portal terbuka. Akibatnya struktur berpotensi mengalami beban gempa yang jauh lebih besar dari perkiraan berdasarkan analisis.
 - b. Dinding pengisi dengan kekakuannya yang besar akan memikul beban gempa yang besar. Masalahnya, kekuatan dinding tidak pernah direncanakan, sehingga kerusakan dinding menjadi di luar kontrol perencana, padahal dinding bersifat getas dan cenderung runtuh mendadak.
 - c. Keberadaan dinding bisa menyebabkan distribusi gaya pada elemen-elemen struktur utama menjadi sangat berbeda sehingga hasil perencanaan yang didasarkan pada model portal terbuka perlu ditelaah dengan kritis. Misalnya efek kolom pendek yang banyak terjadi tanpa disadari perencana struktur, karena perencana struktur tidak memperhatikan detail jendela/ventilasi pada dinding bata.
11. Kerap kali dijumpai struktur bangunan perumahan yang tidak dilengkapi dengan ankur atau tulangan pengikat antara tie-beam dengan pondasi, atau pun antara kolom dengan struktur dinding bata.

Dalam konteks yang lebih makro pola perancangan bangunan (terutama gedug bertingkat) di lingkungan yang padat perlu memperhatikan kondisi bangunan sekitarnya. Dari apa yang dijumpai di Yogyakarta, pada bangunan-bangunan bertingkat banyak dijumpai kerusakan akibat terjadinya benturan dua bangunan bersebelahan. Pada umumnya bangunan-bangunan bertingkat ini dibangun sebagai tambahan dan disambungkan dengan bangunan lama. Masalah yang muncul tersebut terjadi karena kurang diindahkannya jarak yang cukup antara dua bangunan dengan dua masa berbeda yang disambungkan.

Masih di Yogyakarta, banyak dijumpai elemen arsitektural yang sangat membebani struktur bangunan dan pada akhirnya justru sangat berpotensi membahayakan bagi bangunan maupun penghuni bangunan tersebut.

Kegagalan dalam Pengadaan dan Penjaminan Kualitas Material

Kualitas material merupakan unsur terpenting dalam proses konstruksi. Tanpa adanya jaminan terhadap kualitas material, maka hasil konstruksi yang diperoleh tidak akan mencapai sasaran kualitas yang diharapkan. Kualitas material itu sendiri dipengaruhi oleh berbagai hal pada berbagai tahapan, mulai dari pengadaan, pengangkutan, penyimpanan, hingga pengolahannya. Sayangnya hasil investigasi, tidak dapat memberikan fakta atau petunjuk yang langsung menunjukkan terjadi kegagalan dan keberhasilan struktur akibat dari proses pengadaan atau pengolahan bahan tersebut.

Berdasarkan evaluasi terhadap proses pembangunan kembali beberapa bangunan tempat tinggal di Aceh (BRI 2006), terindikasi adanya praktek kerja yang kurang baik yang berkaitan dengan penanganan dan mutu material. Pada banyak kasus dijumpai hal-hal sebagai berikut:

1. Logistik dan pengadaan material merupakan permasalahan klasik pada proyek rekonstruksi Aceh. Ketidaksiediaan material yang disyaratkan dalam standar kualitas tertentu menyebabkan terjadinya penyimpangan dalam bentuk substitusi material sub-standard.
2. Agregat kasar atau pun halus (pasir) yang digunakan dalam campuran beton tidak memenuhi standar kualitas yang ada. Penggunaan agregat kasar yang ukurannya terlalu besar, atau gradasi agregat (kasar dan halus) yang berada di luar amplop gradasi ideal hasil analisis saringan merupakan hal yang umum dijumpai. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan relatif masih sangat kasar (60% > 3 mm), sementara agregat kasarnya juga masih terlalu banyak mengandung batuan uuran besar. Demikian juga dengan beberapa kasus dimana penggunaan vatuan bulat juga masih dijumpai. Akibatnya bisa diduga bahwa campuran tersebut tidak akan dapat mengisi celah-celah beton secara rapat dan konsisten.

Praktek lokal dalam penggunaan material (agregat) campuran yang dijumpai pada saat kegiatan rekonstruksi dapat dijadikan indikasi kecenderungan praktek yang sama dengan apa yang dilakukan sebelum terjadinya bencana gempa bumi.

3. Praktek penyimpanan agregat juga merupakan hal yang perlu diperbaiki. Meskipun tampaknya sederhana dan sepele, penyimpanan agregat secara sebarang dapat mengakibatkan terkontaminasinya agregat dengan benda asing yang tidak seharusnya tercampur dalam agregat tersebut. Di beberapa lokasi dijumpai penyimpanan/penumpukan agregat kasar maupun halus yang tercampur dengan lempung, tanah atau bahan organik lain, dan sebelum dipergunakan sebagai campuran hampir tidak dilakukan upaya pembersihan sama sekali. Sebenarnya pencucian sederhana dapat dilakukan terhadap tumpukan agregat tersebut.
4. Air yang digunakan sebagai bahan campuran beton juga menimbulkan masalah tersendiri. Selain penggunaan air yang berlebihan, kualitas air yang digunakan juga seringkali jauh di bawah standar kualitas yang ditetapkan. Sulitnya memperoleh air bersih terpaksa digantikan dengan air payau atau bahkan air laut.
5. Untuk struktur dinding, penggunaan bata yang ukuran maupun kualitasnya tidak seragam menyebabkan kualitas dinding secara keseluruhan menjadi rendah, dan dalam keadaan di bawah beban gempa struktur dinding ini menjadi bagian yang

terlemah yang lebih dahulu mengalami keruntuhan. Untuk mempertahankan kerataan pasangan dinding bata, ukuran bata yang tidak seragam menyebabkan tukang batu harus mengkompensasinya dengan variasi ketebalan mortar. Tebal mortar yang rata-rata berkisar antara 1,5 cm hingga 2 cm, pada tempat-tempat tertentu meningkat menjadi hampir 4 cm! Selain itu tidak jarang pula dijumpai bata yang digunakan tidak lagi dalam keadaan utuh tetapi telah patah atau hancur sebagian. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa lebih dari 45% sampel bata yang diuji gagal memenuhi standar kekuatan minimum (bata kelas III).

6. Dimensi tulangan baja juga merupakan kelemahan yang banyak dijumpai. Tulangan dengan dimensi nominal 8 mm dan sengkang ukuran 4 mm dengan mutu rendah umum digunakan sebagai tulangan utama untuk rekonstruksi bangunan perumahan. Hasil uji laboratorium terhadap tulangan baja yang umum digunakan pada proyek rekonstruksi menghasilkan tegangan tarik rata-rata sebesar 29.56 Kg/mm² (BJTP 24) dan 43.85 Kg/mm² (BJTP 30) yang berarti 17% lebih rendah daripada kuat tarik standard. Idealnya digunakan tulangan baja berdiameter minimum 10 mm dengan sengkang 8 mm dengan kekuatan minimum 240 Mpa. Untuk struktur yang lebih besar tulangan berulir lebih direkomendasikan.

Sebagaimana dengan kesulitan dalam pengadaan material di Aceh, pada tahap-tahap awal rekonstruksi bangunan di daerah Yogyakarta dan sekitarnya juga mengalami kesulitan dan pengadaan dan logistik material. Banyaknya bangunan yang harus diperbaiki dan/atau dibangun kembali menyebabkan kelangkaan material. Untuk mengatasi kekurangan tersebut masyarakat telah berupaya memanfaatkan kembali (daur ulang) material sisa yang masih dapat dipakai. Upaya ini tentunya patut dihargai, meskipun tetap dibutuhkan pengawasan yang ketat terhadap penggunaannya agar tetap memenuhi standar kualitas yang dikehendaki.

Kagagalan dalam Pelaksanaan dan Pengawasan

Berdasarkan fakta setelah kejadian dan melalui pengamatan praktek kerja pelaksanaan rekonstruksi bangunan yang terkena gempa, dapat dikatakan bahwa faktor utama penyebab gagalnya struktur bangunan menahan beban gempa adalah karena kesalahan yang terjadi selama konstruksi. Kesalahan tersebut terjadi karena kurangnya pemahaman petugas pelaksana maupun pengawas pekerjaan terhadap aspek-aspek teknis dasar konstruksi maupun konsekuensinya. Kerusakan pada komponen struktural maupun non-struktural bangunan yang diakibatkan gempa yang teramati mengindikasikan adanya ketidaksempurnaan pelaksanaan pekerjaan:

1. Material pengikat dinding bata yang tidak dapat mengikat dengan baik dan sangat rapuh; material yang digunakan tidak baik dengan komposisi mortar semen dan pasir tidak mencukupi. Dalam kasus rekonstruksi di Aceh, banyak, praktek pemasangan dinding bata dilakukan dalam keadaan bata kering tanpa dibasahi terlebih dahulu. Akibatnya air semen yang terkandung dalam campuran mortar menjadi berkurang karena terserap bata kering tersebut. Tentu saja praktek ini dapat dihindari secara mudah dengan membasahi terlebih dahulu bata sebelum dipasangkan.

2. Metoda pelaksanaan pekerjaan plesteran pada kolom beton yang tidak baik. Permukaan kolom beton yang rata dan halus tidak dipersiapkan secara sempurna agar bahan plesteran dapat menempel dengan baik. Dalam beberapa kasus rekonstruksi bangunan di Aceh dijumpai ketidaksempurnaan dalam pembuatan dan pemasangan bekisting, yang mengakibatkan ketebalan beton tidak merata. Hal ini juga diperparah dengan pemasangan tulangan yang tidak lurus dan sejajar, serta ada juga yang tidak dipasang dengan tebal selimut beton yang memadai.
3. Di luar kualitas material yang rendah dan sangat bervariasi, pada umumnya campuran beton untuk bangunan perumahan sederhana didasarkan pada rasio 1:2:3 untuk proporsi semen, pasir dan agregat kasar. Dalam kondisi tertentu di Aceh komposisinya adalah 1:3 dimana 1 porsi semen dicampurkan dengan 3 porsi campuran pasir dan agregat kasar. Sayangnya campuran antara pasir dan agregat ini tidak diketahui proporsinya. Dalam kasus lain proporsinya bahkan menjadi 1 porsi semen 6 porsi pasir dan 3 porsi campuran. Praktek pencampuran seperti ini tentunya menghasilkan kualitas beton yang berbeda-beda. Untuk bangunan perumahan, hasil uji beton menunjukkan kekuatan berkisar antara 80 Kg/cm² hingga 125 Kg/cm², sementara untuk bangunan sekolah atau fasilitas umum lainnya mencapai lebih dari 175 kg/cm².
4. Praktek pencampuran beton juga belum dilakukan dengan baik. Pada beberapa kasus dijumpai kondisi beton dengan air yang berlebihan (*bleeding*) dan slump yang terlalu tinggi.
5. Pengecoran beton juga tidak dilakukan dengan sempurna tanpa adanya upaya pemadatan yang cukup. Bukti-bukti berupa beton yang keropos tampak nyata di elemen-elemen kolom struktural atau pun kolom praktis yang mengikat dinding bata. Hal yang paling mengawatirkan adalah banyaknya dijumpai keropos pada sambungan antara kolom dengan balok. Pada beberapa kasus dijumpai pula adanya (sisa) kotoran atau material yang tidak seharusnya berada di dalam struktur beton karena ketidakrapihan pekerjaan, seperti tertinggalnya karung goni, kertas semen dan kayu bekisting di dalam komponen struktural.
6. Praktek curing sama sekali tidak dikenal pada proses pembangunan rumah tinggal, sehingga kualitas beton yang dihasilkan menjadi sangat rendah. Akibatnya perkembangan rekat susut menjadi lebih ekstensif, dan ini memnajdi titik awal kelemahan struktur di bawah kondisi beban ekstreem.
7. Tulangan sebagai bagian penting dari struktur beton juga tidak dipasang dengan sempurna. Selain kualitas dan dimensi tulangan yang sub-standard pemasangan tulangan belum memenuhi kaidah struktur tahan gempa yang memadai. Banyak bukti yang menunjukkan tidak adanya kaitan atau panjang penyaluran yang cukup pada sambungan, atau tidak adanya tekukan pada tulangan sengkang.
Selain ukuran yang kurang, pemasangan tulangan sengkang juga belum dilakukan dengan baik, dimana cara pengikatan dan jarak antar tulangan tampaknya tidak dilakukan dan disusun dengan aturan tertentu.
8. Tebal lapisan mortar dinding bata tidak merata, bahkan di beberapa tempat ketebalannya begitu ekksesif mencapai 4 cm! Sebaliknya dijumpai pula adanya hubungan antar lapisan bata yang tidak terisi mortar atau kosong, yang

menyebabkan ikatan antara lapisan tersebut menjadi tidak sempurna dan menjadi titik lemah awal keruntuhan akibat beban gempa.

Di sisi lain adukan plesteran yang tidak sempurna, tidak merata dan bercampur dengan batuan, menyebabkan ikatan plesteran kepada kolom dan keramik tidak mengikat dengan baik.

9. Detail sambungan (*cold joint*) antar dua tahap pengecoran beton yang berbeda pada suatu kolom yang terlihat tidak dipersiapkan dan dibersihkan dengan baik.
10. Ketidak konsistenan sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan dapat berakibat fatal pada struktur.
11. Keterampilan pekerja, metoda pelaksanaan, sistem quality control dan quality assurance dalam tahapan konstruksi perlu diperhatikan agar tidak memberikan kontribusi kepada kegagalan struktur yang telah direncanakan dengan baik.

Abduh dkk (2007) lebih jauh berkesimpulan bahwa faktor kempoetensi pelaksana konstruksi memberikan kontribusi yang paling besar terhadap keberhasilan atau kegagalan proses konstruksi. Temuan-temuan lain yang terdapat pada tahap pelaksanaan menunjukkan bahwa faktor sumber daya manusia menjadi sangat memegang peranan di sini. Jumlah tenaga kerja yang ahli, tingkat keahlian tenaga kerja, pengetahuan yang dimiliki tenaga kerja, serta kebiasaan bekerja dari tenaga kerja merupakan hal-hal yang sangat penting diperhatikan dalam penyediaan pasokan tenaga kerja konstruksi. Temuan berupa metoda pelaksanaan pekerjaan plesteran pada kolom beton yang tidak baik, adukan plesteran yang tidak sempurna, sambungan antar dua tahap pengecoran beton yang berbeda pada suatu kolom yang terlihat tidak dipersiapkan dan dibersihkan dengan baik, serta masih terdapatnya material yang tidak seharusnya berada di dalam struktur beton karena ketidakrapihan pekerjaan menunjukkan hal tersebut.

Kesimpulan

Dari bahasan di atas dapat disimpulkan bahwa sebenarnya tidak satu bagian pun dalam rangkaian proses pembangunan suatu fasilitas infrastruktur (termasuk bangunan gedung dan rumah tinggal) yang dapat dikatakan bertanggungjawab pada keberhasilan bangunan tersebut dalam berfungsi menahan gempa. Di tahap awal perencanaan memegang peran penting dalam mengidentifikasi dan mengantisipasi berbagai kemungkinan yang berkaitan dengan perilaku struktur bangunan di bawah beban gempa. Antisipasi ini dituangkan dalam rancangan (gambar teknis dan spesifikasi) yang selanjutnya wajib dijadikan pedoman secara ketat oleh pelaksana; baik yang menyangkut kualitas material maupun kualitas pekerjaan dan hasil kerja.

Dari urian di atas pula dapat disimpulkan bahwa pelaku yang terlibat di dalam proses pembangunan tersebut merupakan faktor utama yang memberikan kontribusi terhadap keberhasilan atau kegagalan suatu struktur bangunan beton tahan gempa. Upaya pencegahan terjadinya bencana yang berkaitan dengan tidak berfungsinya struktur bangunan beton tahan gempa sangat ditentukan oleh seberapa baik pemahaman dan ketaatan pelaku (perancang, pelaksana, dan pengawas) terhadap fenomena struktur dan

prinsip-prinsip serta ketentuan standard tentang perancangan dan konstruksi yang ada. Kiranya apa yang dapat diperoleh dari bencana yang lalu dapat dijadikan pelajaran yang sangat berharga untuk dijadikan acuan merencanakan dan melaksanakan pekerjaan konstruksi yang lebih baik di masa mendatang.

Ucapan Terimakasih

Tulisan ini dimungkinkan oleh hasil kontribusi dari sejawat peneliti di Institut teknologi Bandung. Penulis menyampaikan penghargaan atas peran dan konstribusi Dr. Krishna Pibadi, Dr. M. Abduh, Dr. Iswandi Imran dan rekan peneliti lain dalam penelitian kegempaan dan mitigasi bencana.

Daftar Pustaka

1. Imran, I, Suarjana M., Hoedajanto, D., Soemardi, B., Abduh, M. (2006), "Beberapa Pelajaran dari Gempa Yogyakarta; Tinjauan Kinerja Struktur Bangunan Gedung," Jurnal HAKI Volume 7 No.1, Mei 2006.
2. Abduh, M., Soemardi, B.W., Imran, I., (2007) "Pelajaran dari Gempa Yogyakarta: Pentingnya Peran Rantai Nilai dan Rantai Pasok dalam Konstruksi," Seminar Nasional Teknik Sipil III 2007, ITS, 20 Februari 2007
3. BRI (2006), "A Study on Development of Earthquake Disaster Mitigation Policy in Developing Countries: Part II: Rebuilding Safer Aceh." Building Research Institute, National Graduate Institute for Policy Studies.