

EVALUASI KERUSAKAN BANGUNAN AKIBAT GEMPA BESAR

Max Tamara

Dosen Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi
Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

ABSTRACT

Earthquake performance of Reinforced Concrete construction has been well documented. Damage patterns in reinforced concrete during the 1971 San Fernando (California) earthquake have been extensively studied. More recently, several destructive earthquakes of the last decade. These earthquakes have revealed the following patterns of damages and failures in Reinforced Concrete construction. Shear failure and concrete crushing failure in concrete columns, partial ductile design and detailing, conceptual design deficiencies, inappropriate column/beam relative strengths, inadequate detailing, soft-story effects and short-column effects.

Keywords: Earthquake performance, damage pattern, shear failure, crushing failure, soft-story effects, short-column effects.

PENDAHULUAN

Bencana alam tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan manusia. Bencana alam dengan skala kecil seperti longsor tanah, banjir yang merendam perumahan penduduk, angin puting beliung, gempa yang menyebabkan terjadinya retak pada dinding bata maupun bencana alam dengan skala yang besar seperti: angin topan, tsunami dengan gelombang yang memiliki ketinggian puluhan meter, longsor salju (*avalanches*), gempa dengan kekuatan lebih besar dari 7 Skala richter, dll. Semua kejadian ini adalah bencana alam yang dapat menimbulkan kerugian material maupun kematian.

Gempa adalah salah satu gejala alam yang tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi dan berapa besar gempa tersebut, pada umumnya gempa terjadi pada pertemuan dua buah lempeng tetapi lokasi yang tepat sulit diprediksi. Gempa tidak dapat dicegah dan dapat menyebabkan dampak bagi manusia seperti kematian, kerusakan pada bangunan rumah tinggal, fasilitas umum, dll.

Manusia dapat mengurangi dampak dari gempa, baik korban manusia maupun tingkat kerusakan yang timbul pada bangunan pada umumnya. Untuk mengurangi dampak dari gempa, maka bangunan harus dirancang tahan terhadap gempa. Konfigurasi bangunan baik dalam arah horisontal maupun dalam arah vertikal harus simetris, struktur utama seperti kolom-kolom harus dirancang lebih kuat dibandingkan dengan balok, dengan demikian keruntuhan balok dapat dicegah. Apabila kolom hancur lebih dahulu dari balok maka bangunan akan roboh dan penghuni tidak memiliki kesempatan untuk keluar dari gedung. Penyebab lainnya dari kegagalan struktur akibat gempa adalah pelaksanaan yang tidak didasarkan pada pendetailan yang baik seperti pemasangan tulangan yang tidak pada tempatnya.

Salah satu cara untuk mendisain bangunan yang memiliki kemampuan menahan gaya gempa adalah dengan mempelajari kerusakan-kerusakan pada bangunan akibat gempa yang besar. Berdasarkan informasi dari kerusakan-kerusakan tersebut maka dapat menambah pengetahuan dan pengalaman untuk tidak lagi

melakukan kesalahan-kesalahan yang sama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kerusakan-kerusakan bangunan yang terjadi akibat gempa yang besar.

Tujuan dari penelitian ini adalah menginventarisasi kerusakan yang terjadi pada bangunan sipil pada saat terjadi gempa besar berdasarkan laporan yang ada di jurnal-jurnal maupun sumber lainnya dan mengevaluasi kerusakan bangunan akibat gempa secara ilmiah.

Manfaat tulisan ini adalah mengenali elemen-elemen struktur yang menjadi titik lemah bila terjadi gempa besar dan bagaimana cara penanggulangannya dan memberi pengetahuan bagaimana struktur harus dilaksanakan secara benar agar mampu menahan gempa yang besar. Adapun manfaat khususnya bagi para perencana yaitu menambah pengetahuan dan pengalaman mengenai penyebab-penyebab terjadinya kerusakan pada bangunan akibat gempa yang besar. Dengan demikian dapat menghindari kesalahan-kesalahan yang sama di masa yang akan datang.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan. Penelitian ini memanfaatkan perpustakaan fakultas teknik dan mengakses berbagai laporan atau jurnal-jurnal dari berbagai negara mengenai kerusakan bangunan bertingkat akibat gempa lewat internet.

Adapun tahapan-tahapan penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Mempelajari beberapa buku standar mengenai gempa.
- Mengakses internet untuk memperoleh laporan maupun jurnal yang terbaru mengenai kerusakan-kerusakan bangunan bertingkat akibat gempa. Pada tahap ini diperlukan perangkat komputer yang dihubungkan dengan jaringan internet. Laporan-laporan maupun jurnal mengenai kerusakan-kerusakan akibat gempa dapat diperoleh pada beberapa website.
- Berdasarkan pengetahuan dari buku-buku mengenai gempa dan kerusakan-kerusakan akibat

gempa maka dilakukan evaluasi untuk menentukan penyebab-penyebab terjadinya kerusakan pada bangunan bertingkat banyak.

- Melakukan evaluasi untuk menentukan penyebab terjadinya kerusakan. Hasil evaluasi digolongkan ke dalam beberapa tipe kerusakan yang spesifik pada elemen-elemen struktur utama seperti kolom, balok, dinding geser dan sambungan balok dan kolom (*beam-column joint*). Kerusakan ini pada dasarnya dapat disebabkan oleh kesalahan disain, peraturan yang kurang memadai ataupun kesalahan pelaksanaan (konstruksi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut akan dibahas beberapa tipe kerusakan yang sering terjadi pada gedung bertingkat tinggi maupun perumahan akibat gempa.

Disain Tahan gempa

1. Soft Story

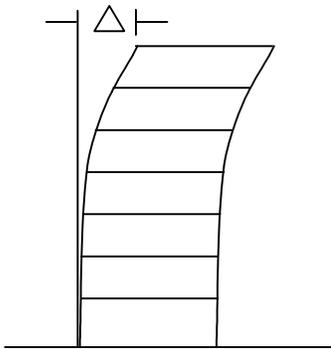
Pemanfaatan ruang pada bangunan bertingkat banyak khususnya pada lantai pertama biasanya membutuhkan ruang (*space*) yang luas (tanpa sekat dinding) dan langit-langit yang cukup tinggi, seperti ruang rapat, hall atau aula, lobi, tempat parkir, dan lain-lain. Tanpa disadari hal ini dapat menyebabkan terjadinya perlemahan pada struktur secara keseluruhan karena adanya perbedaan kekakuan dan massa pada lantai pertama dan lantai yang lain. Fenomena ini biasa disebut *Soft Story*.

Soft story merupakan fenomena dimana kekakuan lateral suatu tingkat tertentu bangunan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan tingkat lainnya. Pada umumnya kondisi ini sering terjadi pada tingkat pertama, dimana karena kebutuhan arsitektural dan komersial, tidak dipasang dinding yang kaku (dinding bata) melainkan dipasang dinding kaca. Di samping itu tingkat tersebut biasanya dibuat lebih tinggi dari tingkat yang di atasnya.

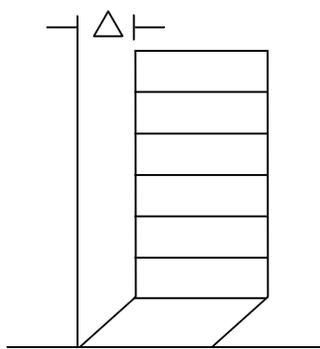
Dinding bata pada suatu tingkat bangunan akan menambah kekakuan lateral tingkat tersebut. Dalam tahap disain, kemampuan dinding bata menahan gaya lateral tidak ikut diperhitungkan. Jika suatu tingkat tertentu tidak dipasang dinding bata, maka

kekakuan lateral tingkat tersebut akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan tingkat lainnya yang dipasang dinding bata. Apabila terjadi gempa kuat maka tingkat tersebut akan terlebih dahulu mengalami kerusakan, karena kedua ujung kolomnya akan berperilaku sendi plastis (*plastic joints*). Dengan adanya sendi plastis, maka ujung kolom dapat berputar relatif, sehingga pada kolom akan terjadi sedikit

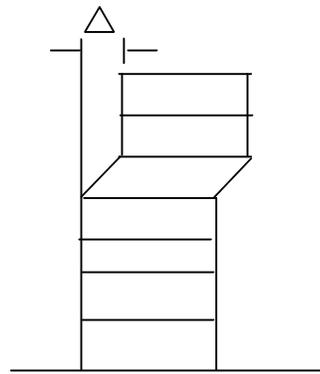
kemiringan. Jika gempa masih berlanjut maka kemiringan akan semakin besar dan akan berakibat terjadinya keruntuhan pada tingkat tersebut. Kondisi ini akan memicu keruntuhan di atasnya yang pada akhirnya akan terjadi keruntuhan total. Keruntuhan kolom merupakan sesuatu yang fatal dan seharusnya tidak boleh terjadi.



Gambar 1a.
Bangunan tanpa soft story



Gambar 1b.
Soft Story lantai 1



Gambar 1c.
Soft story lantai di atasnya



Foto 1. Soft first story



Foto 2. Soft Middle Story



Foto 3. Multiple-Story

Gambar 1a. memperlihatkan bangunan yang memiliki model simpangan yang normal. Gambar 1b. memperlihatkan efek *soft story*

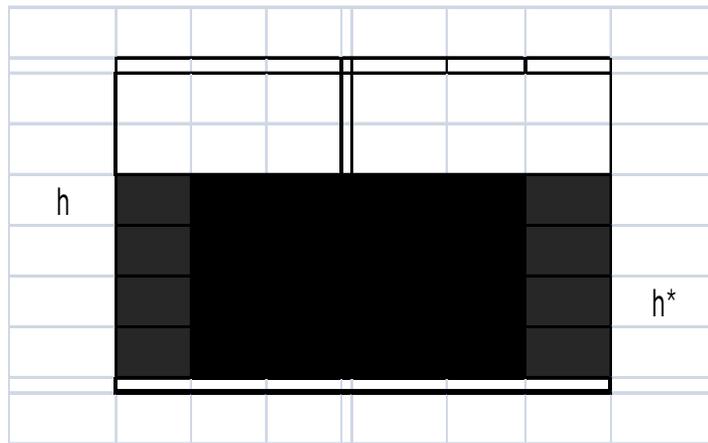
pada lantai pertama (*first soft story*). Hal ini dapat dicegah dengan cara memperbesar kekakuan lateral total, antara lain dengan

memperbesar dimensi kolom atau menempatkan dinding geser pada tempat-tempat tertentu tanpa mengganggu segi arsitektural dan komersial. Gambar 1c memperlihatkan efek *soft story* yang terjadi pada lantai yang lebih tinggi. Hal ini dapat dicegah dengan menambah atau memasang dinding yang lebih kaku (dinding bata).

2. Kolom Pendek (*Short Column*)

Kolom pendek merupakan kondisi dimana kolom atau beberapa kolom yang ukuran

panjangnya jauh lebih kecil dari panjang kolom lainnya pada suatu tingkat bangunan (Gambar 3). Hal ini tidak dibuat dengan sengaja oleh perencana pada tahap disain akan tetapi dapat terjadi pada tahap pelaksanaan. Hal ini terjadi jika pelaksana atau arsitektur tidak menyadari hal ini. Kondisi kolom pendek dapat terjadi ketika kedua sisi yang berseberangan kolom dipasang dinding kaku sampai suatu batas ketinggian tertentu, hal ini akan menyebabkan seakan-akan panjang kolom akan berkurang (Gambar 2).



Gambar 2. Kondisi kolom pendek

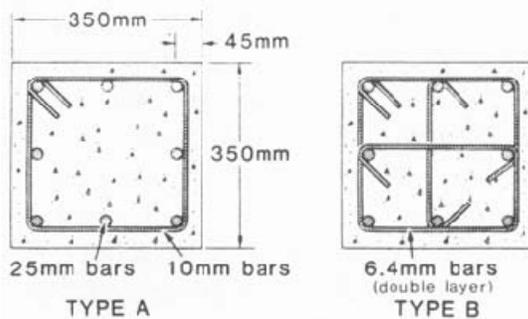


Foto 4 dan 5. Kerusakan akibat kolom pendek di Managua, Nicaragua, 1972

3. Confinement

Kolom merupakan elemen struktur yang sangat penting pada sebuah bangunan bertingkat. Kerusakan pada sebuah kolom akan menyebabkan keruntuhan bangunan secara menyeluruh. Fungsi utama elemen ini adalah sebagai elemen struktur penahan gaya vertikal. Makin tinggi suatu bangunan, atau makin banyak jumlah lantai maka beban yang dipikul oleh sebuah kolom akan makin besar, terutama kolom-kolom yang berada di lantai bawah.

Apabila terjadi gempa, kolom-kolom bagian tepi akan menerima beban ekstra. Oleh karena itu diperlukan supaya agar beban ekstra tersebut masih mampu dipikul oleh kolom. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan efek pengekangan pada inti kolom (*confinement effect*). Akibat beban vertikal, beton akan mengalami tekanan yang besar sehingga akan mengalami perpindahan dalam arah sumbu kolom. Hal ini akan menyebabkan beton mengalami perpanjangan dalam arah tegak lurus atau arah radial. Hal ini dapat dicegah dengan memasang tulangan *confinement* (Gambar 4), berupa sengkang ekstra. Kegagalan memasang tulangan *confinement* pada gedung bertingkat banyak akan menyebabkan kegagalan kolom yang akan menyebabkan keruntuhan bangunan pada saat terjadinya gempa.



Gambar 4. Tulangan *Confinement*



Foto 6 dan Foto 7. Efek confinement pada kolom

4. Sambungan balok-kolom

Sambungan balok kolom adalah suatu elemen struktur yang merupakan daerah dimana kolom bertemu dengan balok, dan berbentuk segiempat, selebar kolom dan setinggi balok. Apabila terjadi gempa pada bangunan bertingkat maka elemen ini akan menerima gaya geser yang sangat besar, di samping itu juga menerima gaya tekan yang besar karena masih merupakan bagian dari kolom.



Foto 8 dan Foto 9. Kegagalan sambungan balok dan kolom

5. *Strong Column – Weak Beam*

Struktur portal (*frames*) harus dirancang memenuhi kriteria kolom lebih kuat dari pada balok, secara sederhana dapat dikatakan balok akan hancur terlebih dahulu sebelum kolom. Kehancuran kolom lebih fatal dibandingkan kehancuran balok. Apabila terjadi kehancuran pada balok maka penghuni masih memiliki kesempatan untuk meloloskan diri.

Keseimbangan momen pada beam column joint adalah sebagai berikut:

$$\sum \quad \quad \quad \Sigma$$

$$M_{\text{blk kiri}} + M_{\text{blk kanan}} = M_{\text{klm kiri}} + M_{\text{klm kanan}}$$

Agar kapasitas batas kolom lebih besar dari balok, maka disain harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$M_{\text{blk kiri}} + M_{\text{blk kanan}} < M_{\text{kom kiri}} + M_{\text{klm kanan}}$$

Pada saat balok mencapai kapasitas batas, terjadi sendi plastis pada ujung balok, kolom belum mencapai kapasitas batasnya. Ada selang waktu antara kehancuran balok diikuti kehancuran pada kolom, sehingga masih memiliki kesempatan untuk usaha penyelamatan bagi penghuni bangunan tersebut.

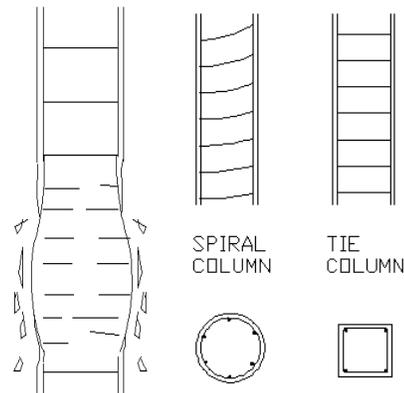


Foto 10. kekuatan balok lebih kuat dari kolom.

Kegagalan Detailing

1. Tulangan *Confinement*

Tulangan *Confinement* di pasang pada elemen struktur yang menahan gaya tekan yang sangat besar, misalnya kolom pada lantai-lantai bagian bawah bangunan bertingkat tinggi juga termasuk daerah *beam-column joint*nya. Bila terjadi gempa, kolom bagian tepi akan menerima gaya tekan ekstra. Makin tinggi bangunan makin besar tambahan gaya ekstranya. Tulangan *Confinement* merupakan serangkaian tulangan yang berfungsi untuk memperbesar kemampuan inti kolom beton menahan gaya tekan. Tulangan *confinement* berupa tulangan sengkang (*ties*) dan *cross ties*. Sengkang (*ties*) berfungsi untuk membungkus inti kolom, sehingga penampang inti beton ditahan agar tidak mengembang kearah radial



Gambar 6. Penampang kolom beton bertulang dengan tulangan sengkang

Akibat gaya normal tekan maka inti kolom akan mengembang ke arah radial / arah keluar inti dan mendorong selimut beton. Pada tingkat gaya tekan tertentu, tekanan pada selimut beton menyebabkan selimut beton terlepas (*spalling*), atau terlempar keluar disertai suara ledakan. Sengkang akan terekspose, bila penjangkaran sengkang tidak kuat sengkang akan terlepas dari posisinya dan *effect confinement* pada sengkang tersebut akan hilang, jarak antara dua sengkang akan menjadi besar dan batang-batang longitudinal akan tertekuk,

karena panjang tekuk akan menjadi lebih besar.



Foto 15. Kegagalan confinement



Foto 16. Kegagalan confinement

2. Penjangkaran Tulangan Balok

a. Kolom tepi

Lebar kolom tepi biasanya lebih kecil dari pada panjang penyaluran tulngan, oleh sebab itu ujung tulangan perlu dibengkokkan dengan sudut 90 derajat. Bila panjang penyaluran tulangan balok tidak cukup maka tulangan biasanya terlepas dari ikatannya dengan beton dan akan menimbulkan kerusakan pada ujung balok. Karena arah beban lateral gempa dapat berubah rubah (bolak-balik) maka baik tulangan atas maupun tulangan bawah balok perlu perlu dijangkar pada daerah

kolom sesuai kebutuhan (peraturan). Dalam pelaksanaannya sering kali hanya tulangan bagian atas saja yang dibengkokkan sedangkan tulangan bagian bawah di pasang lurus saja.

b. Kolom tengah

Pada bagian tengah kolom, balok memiliki tulangan pada kedua sisi kolom. Akibat Beban gempa, dalam daerah *beam-column joint*, tulangan atas akan menerima gaya tarik pada bagian kiri dan bagian kanan akan menerima gaya tekan. Kedua gaya ini relatif sama besar. Gambar 11b. Demikian halnya tulangan bagian bawah memiliki model yang sama. Tegangan geser yang terjadi antara tulangan dan beton mencapai dua kali normalnya, oleh sebab itu tulangan balok jangan disambung pada daerah *beam-column joint*.



Foto 17. Kolom Pinggir tidak dijangkar ke kolom



Foto 18. Kolom Tengah tidak dijangkar ke kolom

3. Sambungan Tulangan / Splices

Besi tulangan yang ada dipasaran memiliki panjang yang terbatas, sepanjang 12 m. Pada tempat-tempat tertentu tulangan perlu disambung, baik pada kolom maupun pada balok. Sambungan tulangan pada kolom biasanya pada bagian bawah pada batas lantai. Pada balok sambungan harus ditempatkan pada tempat-tempat tertentu di mana tegangan tarik kecil. Dalam pelaksanaan ada kecenderungan memanfaatkan material seefisien mungkin dengan penyambungan tulangan dilakukan dimana saja, tanpa memperhatikan resiko bahaya yang mungkin terjadi.

Pada balok, sambungan tulangan harus dihindari pada *beam-column joint*. Tulangan balok tidak boleh disambung pada daerah yang memiliki tegangan tarik yang besar. Tempat ideal untuk dipasang sambungan tulangan adalah tempat dimana momen lenturnya kecil, apabila terjadi gempa, yaitu kurang lebih seperempat sampai sepertiga dari tepi balok. Panjang sambungan harus mengikuti peraturan yang berlaku, sebesar 40 kali diameter tulangan memanjang, ujung tulangan harus diberi kait terutama pada daerah tegangan tarik, juga harus dipasangkan sengkang ekstra pada kedua ujung sambungan.



Foto 19. Kegagalan sambungan



Foto 20. Sambungan antara besi longitudinal

KESIMPULAN

Berdasarkan laporan kerusakan bangunan pasca gempa yang terjadi di berbagai negara pada waktu belakangan ini, maka kerusakan bangunan dapat digolongkan dalam beberapa tipe atau penyebab. Penyebab utama adalah disain struktur yang tidak memenuhi syarat bangunan tahan gempa, dapat disebabkan oleh peraturan yang tidak memadai, ataupun tidak menerapkan konsep bangunan tahan gempa. Penyebab lainnya berada pada tahap pelaksanaan ataupun kecerobohan pemasangan tulangan.

Kerusakan yang paling berbahaya apabila kolom bagian bawah hancur duluan yang menyebabkan kerusakan bangunan secara menyeluruh yang menyebabkan banyak korban. Khususnya bangunan pemukiman yang struktur bangunannya spesifik (traditional) seperti bangunan dengan dinding dari lumpur (mud brick) tanpa perkuatan di beberapa negara tertentu. Bangunan dinding kayu tipis dengan rangka kayu tanpa skor (bracing) dan atap dari genteng yang berat seperti di Jepang dan Pulau Jawa.

SARAN

Bangunan bertingkat tinggi perlu didisain sesuai dengan peraturan yang berlaku dan harus mengikuti konsep bangunan tahan gempa. Dalam proses pengawasan diperlukan pengawasan yang ketat dan pengetahuan yang

cukup terutama pada pemasangan tulangan baja beton. Bangunan traditional harus diberi perkuatan tertentu, misalnya kolom praktis untuk dinding bata, dan bracing untuk rangka dinding papan atau dinding gabah.

10. Yakut Ahmet. **Reinforced Concrete Frame Construction.** Middle East Technical University, Turkey

DAFTAR PUSTAKA

1. Chopra, Anil K., **Dynamics of Structures**, University of California, Berkeley. USA.
2. Ertugrul Taciroglu dan Payman Khalili-Tehrani, 2008, **Older Reinforced Concrete Buildings**, University of California, Los Angeles.
3. Farzad Naeim, **The Seismic Design Handbook**, Structural Engineering an Reinhold New York.
4. Guna Selvaduray dan Jessica Tran, **The San Simeon Earthquake of December 2003, A Reconnaissance Report**, San Jose State University.
5. Koji Yoshimura dan Masayuki Kuroki, 2000, **Damage to Building Structure Caused by the 1999 Athens Eartquake in Greece**, University of Oita, Japan.
6. Mizuo Inukai dan Namihiko Inoue. 2008. **2008 Wenchuan Eartquake and Building Damage.**
7. Newmark dan Rosenblueth, 1971, **Fundamentals of Eartquake Engineering Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.** America.
8. Paulay dan Priestley, **Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings**, America.
9. Sezen, H., Whittaker A.S., Elwood K.J., Mosalam K.M., 2002. **Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practise in Turkey.** Engineering Structures.