

THE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURE STRENGTHENED USING BRACING METHOD

KAJIAN PERKUATAN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN METODA BRESING

Mulyo Harris Pradono¹

¹Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana, Kedepuan Bidang Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung 820, Geotech, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15314, telepon: (021) 7579 1378
e-mail: mulyo.harris@bppt.go.id

Abstract

Indonesia is an earthquake-prone country. Construction of public facilities must be safe from earthquake threats. For construction that is not yet safe to the level of earthquake threat at its location of construction, it is necessary to improve the performance so that it is safer against earthquake threats. One of the methods used to improve structural behavior is by installing the steel braces on reinforced concrete frame structures. The important thing in the addition of bracing is the change in the mechanism of earthquake force resistant by the structure, where the dominant mechanism of moment resisting columns becomes the dominant mechanism of compression-tension of columns that is transmitted to foundations. This causes the strength of the foundation becomes a main factor in the effectiveness of the installation of additional bracing. This paper presents a study of increasing strength by adding the bracing structures that are applied to existing building structures. The results show the effectiveness of bracing for improving the structural behavior in receiving earthquake loads, although it is limited by the availability of bracing placement in the structure.

Keywords: *Structural strengthening, bracing method, assessment, reinforced concrete frame*

Abstrak

Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa bumi. Konstruksi fasilitas umum harus aman terhadap ancaman gempa bumi. Untuk konstruksi terbangun yang belum aman terhadap tingkat ancaman gempa bumi pada lokasi terbangunnya, perlu mendapatkan peningkatan perilaku sehingga lebih aman terhadap ancaman gempa bumi. Salah satu metode yang digunakan untuk perbaikan perilaku struktur adalah dengan pemasangan bresing baja pada bangunan struktur rangka beton bertulang. Hal yang perlu diperhatikan dalam penambahan bresing ini adalah terjadinya perubahan mekanisme penahanan gaya gempa oleh struktur, yaitu mekanisme dominasi momen kolom menjadi mekanisme dominasi tarik-tekan kolom yang diteruskan ke pondasi. Hal ini menyebabkan kekuatan pondasi juga menjadi faktor penentu dalam tingkat keefektifan pemasangan bresing tambahan. Makalah ini menampilkan kajian peningkatan kekuatan dengan penambahan struktur bresing yang diterapkan terhadap struktur gedung eksisting. Hasilnya menunjukkan keefektifan bresing dalam memperbaiki perilaku struktur dalam menerima beban gempa, walaupun dibatasi oleh ketersediaan lokasi penempatan bresing.

Kata kunci: Perkuatan struktur, metode bresing, kajian, rangka beton bertulang

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kejadian gempa yang terjadi dalam waktu relatif berdekatan yang dirasakan di Jakarta yang memiliki banyak gedung bertingkat menjadi peringatan bagi perlunya kajian terhadap kesiapan gedung dalam menghadapi ancaman gempabumi yang lebih besar. Pada tanggal 9 Agustus 2007 pukul 00.04 WIB di Laut Jawa terjadi gempabumi dengan kekuatan 7,5 pada Skala Richter. Pusat gempa terletak sekitar 75 km barat laut Kabupaten Indramayu, Jawa Barat dengan kedalaman 290 km. Guncangan gempabumi dirasakan sebagai MMI IV di Jakarta (USGS, 2007). Beberapa gedung bertingkat mengalami retak-retak (Wikipedia, 2007).

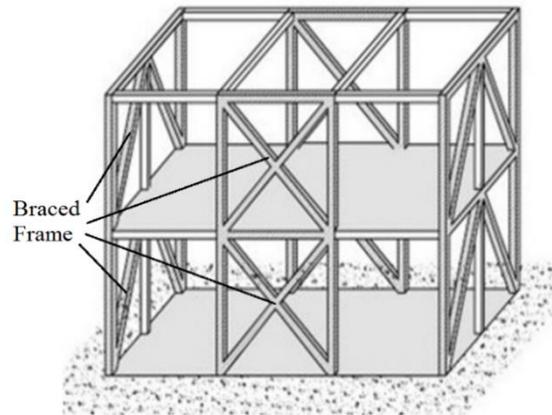
Gempa berikutnya yang cukup signifikan terjadi pada tanggal 2 September 2009 pada pukul 14:55:21 WIB. Gempa tektonik ini berpusat di laut sekitar 142 km barat daya Tasikmalaya, Jawa Barat, dan berkekuatan 7,3 pada Skala Richter (Meilano, et.al. 2010 dan Wikipedia, 2009). Pada kejadian ini, gedung BPPT mengalami retak-retak pada komponen non strukturnya. Intensitas gempa di Jakarta sekitar IV – V MMI dengan percepatan puncak tanah (PGA) sekitar 0.039 g (Pradono, 2010).

Baru-baru ini, pada tanggal 23 Januari 2018, terjadi lagi gempabumi dengan skala yang lebih kecil. Gempa bumi ini berkekuatan 6,1 SR pada pukul 13.34 WIB di Samudera Hindia selatan Pulau Jawa. Pusat gempa berjarak 43 km dari Kota Muarabinguaneun, Kecamatan Wanasalam, Kabupaten Lebak, Banten dengan kedalaman 10 Km. Guncangan gempa bumi dirasakan di DKI Jakarta dengan MMI IV (Wikipedia, 2018).

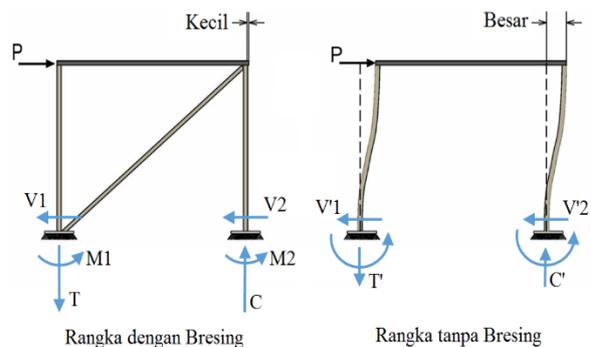
Kota DKI Jakarta dan sekitarnya berdasarkan peta ancaman gempabumi 2017, terancam gempa dengan skala MMI VII, dengan percepatan sekitar 0.3 g - 0.4 g di batuan dasar, dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Kementerian PU, 2017). Bangunan-bangunan, khususnya bangunan pemerintahan, di kabupaten/kota harus diketahui bagaimana kondisi kekuatannya. Jika dalam kajian bangunan tersebut ditemukan kondisi kekuatan bangunan yang tidak memenuhi persyaratan aman gempa, maka perlu ada rekomendasi yang dilakukan agar bangunan dapat lebih aman terhadap ancaman gempabumi.

Salah satu cara perkuatan gedung terhadap ancaman gempabumi adalah dengan metode penambahan bresing pada struktur gedung yang sudah berdiri. Metode bresing ini sudah diamanatkan di dalam FEMA pada

tahun 2002 (FEMA, 2002). Bresing adalah struktur berbentuk silang yang ditambahkan pada bidang antara dua kolom (Gambar 1). Struktur ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur. Akan tetapi, kehati-hatian perlu diterapkan di sini, karena menambahkan bresing ini artinya merubah perilaku struktur dalam menahan gaya gempa. Gaya gempa yang tadinya ditahan dengan mengandalkan dominasi kekuatan momen kolom, berubah menjadi dominasi kopel gaya tarik-tekan pada kolom dan pondasi (Gambar 2).



Gambar 1. Contoh penambahan bresing (*Braced Frame*) pada struktur untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur

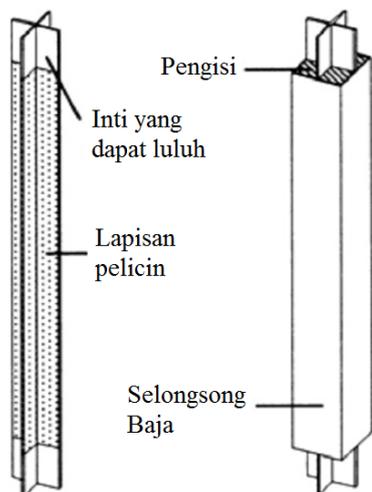


Gambar 2. Perbedaan perilaku dan gaya struktur dengan dan tanpa bresing

Amerika Serikat mengeluarkan aturan mengenai bresing ini di dalam "Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems, A Guide for Practicing Engineers" (Sabelli, et. al., 2013). Peraturan ini mengatur mengenai Concentrically Braced Frames (CBF). CBF cenderung efisien dalam menahan gaya lateral karena mereka dapat memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Namun karakteristik ini juga dapat menghasilkan respons seismik yang kurang menguntungkan, yaitu kapasitas simpangan yang rendah dan akselerasi yang lebih tinggi. Maka dibangunlah Special Concentrically

Braced Frames (SCBF), yang merupakan kelas khusus CBF yang proporsional dan rinci untuk memaksimalkan kapasitas simpangan inelastik.

Jenis bresing yang baru adalah *Buckling-Restrained Brace* (BRB). BRB ini mempunyai batang inti diagonal yang dapat menerima beban aksial karena adanya mekanisme penahan terjadinya tekuk (*buckling*) pada inti batang diagonal (Gambar 3). Karena tekuknya tertahan, maka tidak ada degradasi kekuatan selama kompresi.



Gambar 3. Inti batang diagonal yang dapat luluh untuk menjamin perilaku daktail dari Buckling-Restrained Brace (BRB)

FEMA juga mengeluarkan peraturan untuk BRB ini, yaitu *Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames* (Kersting, et al., 2015). Di dalam peraturan ini disebutkan bahwa BRB adalah produk yang dirakit. Di Amerika, saat ini BRB hanya dibuat oleh sekelompok kecil produsen. Setiap BRB dibuat khusus untuk setiap proyek, namun penggunaan BRB pada proyek tidak memerlukan waktu tambahan dalam jadwal konstruksi. Untuk sebagian besar proyek desain-lelang-bangun, insinyur desain umumnya tidak terlibat dalam memilih pabrikan yang bertanggung jawab atas fabrikasi BRB, melainkan menentukan parameter kinerja BRB yang penting untuk fabrikasi BRB untuk memungkinkan penawaran kompetitif oleh pabrikan mana pun. Untuk proyek desain-bangun, pemilik, kontraktor umum, atau bahkan tim desain dapat memilih pabrik BRB. Dalam kasus seperti itu, insinyur desain akan mendapat manfaat bekerja secara langsung dengan satu produsen BRB.

Nugroho (Nugroho, 2018) dalam makalahnya mengatakan bahwa bresing dapat

digunakan sebagai pengganti dinding geser atau dinding struktural. Dari segi biaya, rangka beton dengan tambahan bresing dinilai lebih efisien dibandingkan rangka beton dengan tambahan dinding geser. Dinding geser dinilai dapat meningkatkan biaya struktur karena merupakan dinding struktural penuh beton bertulang.

Makalah ini akan menyampaikan kajian mengenai peningkatan kekuatan struktur dengan penambahan struktur bresing yang diterapkan terhadap struktur gedung eksisting. Pendekatan dilakukan dengan pertama memodelkan struktur eksisting, kemudian memberikan beban gempa. Model dibuat tanpa dan dengan bresing. Hasilnya menunjukkan keefektifan bresing dalam memperbaiki perilaku struktur dalam menerima beban gempa, walau dibatasi oleh ketersediaan lokasi penempatan bresing.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar efektifitas penambahan struktur bresing dalam meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur gedung eksisting dalam menghadapi gaya gempa di Indonesia. Faktor yang membatasi efektifitas bresing ini adalah kapasitas gaya tarik dan tekan pada kolom dan pondasi yang dipasang bresing ini. Selanjutnya, karena penambahan bresing ini dilakukan pada struktur yang sudah berdiri, maka penempatan bresing tidak bisa dilakukan di setiap tempat strategis. Penempatan tergantung pada ketersediaan lokasi yang tidak mengganggu fungsi dan akses dari ruangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model data gedung eksisting yang sudah berdiri di Indonesia. Model ini sebelumnya telah dipaparkan di dalam makalah oleh Pradono dengan topik mengenai Kajian Penerapan Standar Tahan Gempa pada Pemeriksaan Struktur Gedung Terbangun (Pradono, 2019). Gedung yang dimodelkan merupakan gedung rumah sakit umum di Kota Tangerang. Gambar 4 menunjukkan foto maket gedung.

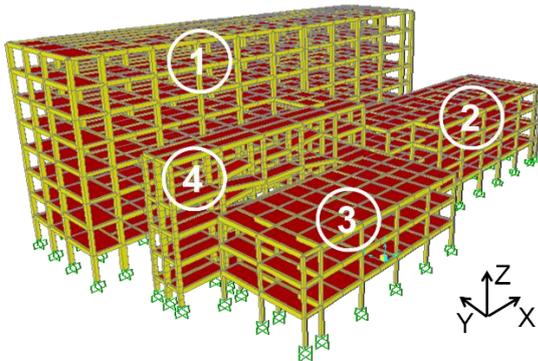


Gambar 4. Tampak luar gedung yang dimodelkan

2.2. Metode

Metode yang digunakan adalah:

- Pengumpulan dan pengukuran data di lapangan dilakukan antara bulan September sampai dengan Oktober 2018. Data yang dikumpulkan berupa dimensi struktur, kuat tekan beton, dan dimensi tulangan dalam beton (Pradono, 2019).
- Nilai dimensi struktur, nilai kuat tekan beton, dan dimensi tulangan yang diperoleh dari pengukuran langsung pada gedung eksisting dimasukkan dalam program analisis struktur, yaitu SAP 2000 (Computers and Structures, 2009), untuk membangun model gedung tanpa dan dengan bresing.
- Simulasi gaya gempa sesuai dengan standar SNI 1726:2012. Perekaman gaya-gaya yang terjadi pada kolom, balok, bresing (untuk model dengan bresing), dan pondasi akibat gaya gempa.
- Analisis kapasitas kekuatan kolom dan balok sesuai dengan standar SNI 2847 2013, dan kapasitas pondasi.
- Perbandingan antara kapasitas kolom, balok, dan pondasi dengan gaya yang terjadi akibat gempa.



Gambar 5. Model gedung kajian tanpa bresing (Sumber: Pradono, 2019)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan Gedung

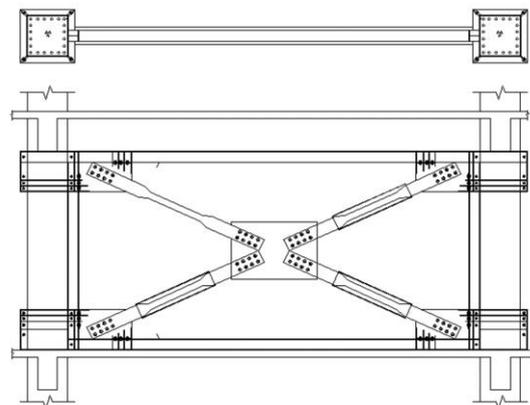
3.1.1. Pemodelan Gedung tanpa Bresing

Sesuai dengan metode yang disebutkan di atas, setelah nilai dimensi struktur, nilai kuat tekan beton, dan dimensi tulangan yang diperoleh dari pengukuran langsung pada gedung eksisting dimasukkan dalam program analisis struktur, maka akan diperoleh hasil pemodelan seperti apa yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gedung yang dikaji terbuat dari material beton bertulang dengan bentuk yang dikategorikan tidak beraturan karena merupakan gabungan terkoneksi antara gedung 8 lantai (nomor lingkaran 1 pada Gambar 5), 4 lantai (nomor lingkaran 2), 3 lantai (nomor lingkaran 3), dan *ramp* (nomor lingkaran 4). Model gedung tanpa bresing ini kemudian diberikan beban gempa statik ekuivalen horisontal dalam arah X dan Y, di mana koefisien gempa C_s , atau percepatan gempa, diambil sebesar 0,1g.

3.1.2. Pemodelan Gedung dengan Bresing

Model yang sudah dibuat, kemudian diberikan struktur bresing. Struktur bresing yang digunakan berbentuk seperti pada Gambar 6. Struktur bresing ini terbuat dari material baja dengan kuat tarik sebesar 370 MPa. Baja ini merupakan baja mutu sedang dengan sifat daktilitas (*ductile*) yang baik. Daktilitas diperlukan untuk mengakomodasi deformasi yang besar tanpa kehilangan kekuatan. Deformasi secara daktil dapat meredam energi getaran dengan baik.



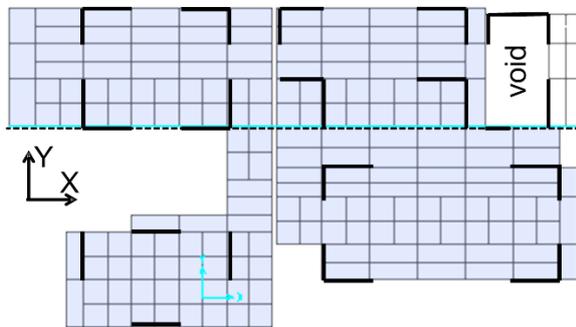
Gambar 6. Rangka Bresing Tambahan yang Dikaji untuk Alternatif Perkuatan Struktur Gedung

Bresing ditempatkan di antara dua kolom pada tiap lantai. Ujung bresing disambungkan pada kolom dengan menggunakan baja

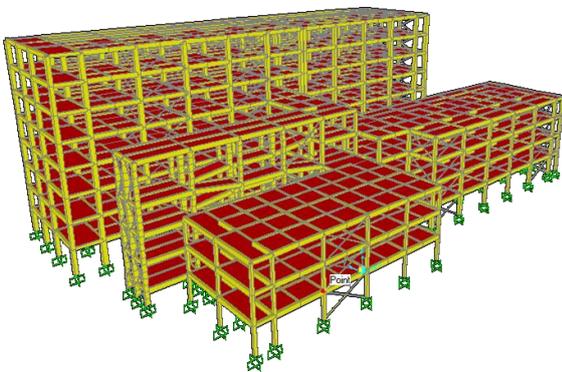
pengikat melingkar, seperti tampak pada Gambar 6. Penentuan lokasi penempatan bresing didasarkan pada:

- Kapasitas pondasi pada kolom yang dipasang bresing, yaitu diutamakan pada pondasi yang berkapasitas cukup dalam menerima beban tarik dan tekan.
- Adanya bidang antara kolom yang boleh dipasang bresing ini, dengan konsekuensi bresing akan menghalangi lalu lalang penghuni gedung. Sedapat mungkin penempatan bresing tidak mengganggu lalu lalang penghuni ruangan.

Setelah melalui pemilihan lokasi berdasarkan kriteria di atas, maka akhirnya bresing diletakkan pada posisi seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Penempatan bresing juga tidak selalu bisa simetris pada denah gedung. Model gedung kajian dengan bresing ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Denah gedung menunjukkan lokasi penempatan bresing (garis hitam tebal)

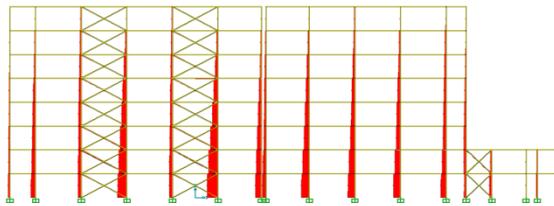


Gambar 8. Model gedung kajian dengan bresing

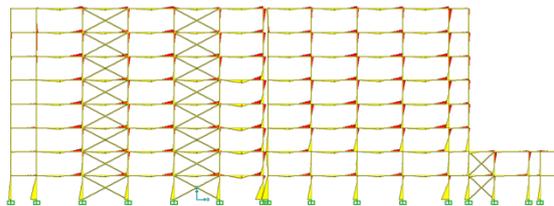
Setelah dilakukan pemodelan gedung dengan dilengkapi bresing, maka dilakukan analisis beban gempa yang dalam kajian ini diwakili dengan beban gempa statik ekuivalen horisontal dalam arah X dan Y, di mana koefisien gempa C_s , atau percepatan gempa,

diambil sebesar 0,1g. Hasil analisis besarnya gaya aksial pada bresing dan kolom di bidang tengah gedung (bidang pada garis putus-putus pada Gambar 7) ditunjukkan pada Gambar 9.

Pada gambar tersebut, nilai dari gaya tekan aksial terbesar pada bresing adalah 446 kN. Gaya aksial terbesar pada kolom yang dipasang bresing adalah 6860 kN, sedangkan pada kolom yang tidak dipasang bresing adalah 1760 kN. Hasil analisis besarnya momen pada kolom di bidang tengah (bidang pada garis putus-putus pada Gambar 7) ditunjukkan pada Gambar 10. Analisis ini untuk mendapatkan nilai-nilai momen pada kolom yang akan dibandingkan dengan model tanpa bresing.



Gambar 9. Gaya aksial pada bresing dan kolom saat dikenai beban gempa rencana arah X.



Gambar 10. Momen pada kolom saat dikenai beban gempa rencana arah X.

3.1.3. Perbandingan Momen Kolom pada Gedung tanpa dan dengan Bresing

Setelah nilai-nilai momen pada kolom didapatkan untuk model gedung tanpa dan dengan bresing, maka nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan kapasitas kolomnya, yang dihitung berdasarkan kuat tekan beton dan dimensi tulangan dalam kolom (Pradono, 2019). Perbandingan ini dinamakan rasio momen/kapasitas kolom. Rasio ini dibuat dalam bentuk grafik untuk model tanpa dan dengan bresing. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12 untuk simulasi gempa arah X dan arah Y.

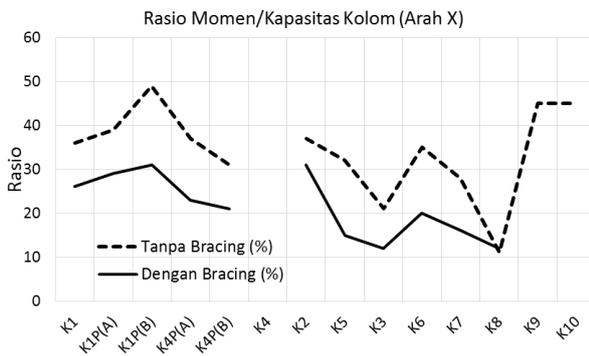
Dari grafik tersebut, dapat ditunjukkan bahwa penambahan bresing menurunkan momen pada kolom. Penambahan rangka bresing membuat momen akibat gempa pada kolom:

- Pada gedung 8 lantai turun menjadi
 - 72 % dari tanpa bresing (arah X)

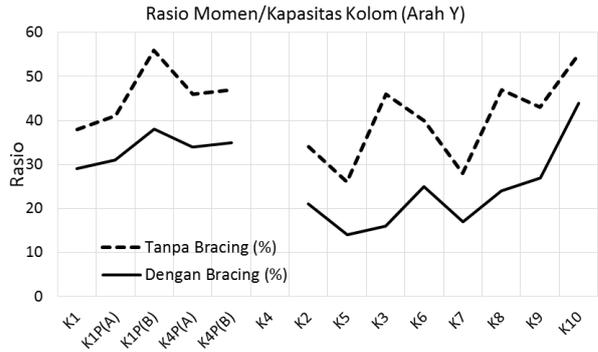
- 76 % dari tanpa bracing (arah Y).
- Pada gedung 4 lantai turun menjadi:
 - 57 % dari tanpa bracing (arah X)
 - 35 % dari tanpa bracing (arah Y)
- Pada gedung 3 lantai turun menjadi
 - Relatif sama dari tanpa bracing (arah X)
 - 51 % dari tanpa bracing (arah Y).
- Pada lobi turun menjadi:
 - 84 % dari tanpa bracing (arah X)
 - 62 % dari tanpa bracing (arah Y)
- Pada ramp turun menjadi:
 - Relatif sama dari tanpa bracing (arah X)
 - 63 % dari tanpa bracing (arah Y)

Nilai persentase di atas sebenarnya masih bisa diturunkan lagi jika jumlah lokasi bracing dapat ditambah, tetapi keterbatasan ruang peletakan bracing menjadi kendala. Oleh karena itu, hasil di atas adalah yang paling optimum untuk kondisi bangunan ini.

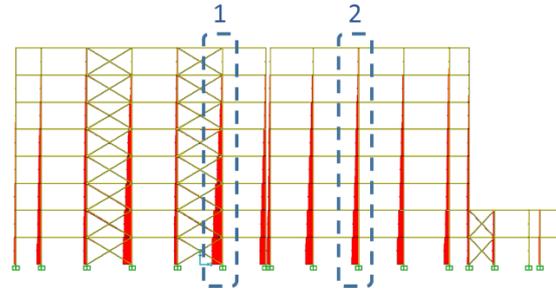
Keterbatasan ruang penempatan bracing membuat tidak terdistribusinya gaya aksial kolom pada kolom-kolom selain yang dipasang bracing (Gambar 13). Garis putus-putus 1 menunjukkan diagram gaya aksial pada kolom yang dipasang bracing. Garis putus-putus 2 menunjukkan diagram gaya aksial pada kolom yang tidak dipasang bracing. Akibatnya, terjadi pemusatan gaya aksial kolom ini pada pondasi di bawahnya. Pondasi tidak didesain untuk menahan peningkatan gaya terpusat ini, sehingga kekuatan pondasi menjadi pembatas dalam efektifitas bracing dalam gedung ini.



Gambar 11. Rasio momen / kapasitas kolom untuk model tanpa dan dengan bracing (gempa arah X)



Gambar 12. Rasio momen / kapasitas kolom untuk model tanpa dan dengan bracing (gempa arah Y)



Gambar 13. Rasio momen / kapasitas kolom untuk model tanpa dan dengan bracing (gempa arah Y)

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan kajian mengenai efektifitas penambahan bracing pada struktur bangunan gedung. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan bracing pada gedung dapat menurunkan momen yang terjadi pada kolom akibat gempa bumi. Akan tetapi, penurunan ini disertai dengan peningkatan gaya aksial pada kolom. Gaya aksial kolom akan membebani pondasi, sehingga kekuatan pondasi eksisting menjadi penting dalam menentukan keefektifan penambahan bracing.

Dalam studi kasus ini, dengan dibatasinya kekuatan pondasi eksisting, maka penambahan bracing membuat momen akibat gempa pada kolom:

- gedung 8 lantai turun menjadi
 - 72 % dari tanpa bracing (arah X)
 - 76 % dari tanpa bracing (arah Y).
- gedung 4 lantai menjadi:
 - 57 % dari tanpa bracing (arah X)
 - 35 % dari tanpa bracing (arah Y)
- gedung 3 lantai turun menjadi
 - Relatif sama dari tanpa bracing (arah X)
 - 51 % dari tanpa bracing (arah Y).
- lobi menjadi:
 - 84 % dari tanpa bracing (arah X)
 - 62 % dari tanpa bracing (arah Y)
- ramp menjadi:
 - Relatif sama dari tanpa bracing (arah X)

- o 63 % dari tanpa bresing (arah Y)

Terjadi penurunan momen pada kolom yang cukup signifikan, walaupun ada batasan kapasitas pondasi dan batasan ruang peletakan bresing. Dengan kajian di atas, metode bresing ini dapat diusulkan untuk menjadi metode perbaikan perilaku struktur gedung ini akibat gaya gempa.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Kota Tangerang yang memberikan ijin dalam mengkaji gedung-gedung di Kota Tangerang. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan di Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana – TPSA – BPPT yang membantu dalam perolehan data lapangan yang digunakan dalam analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Computers and Structures, Inc., 2002. SAP2000 Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures.
- FEMA, 2002. Earthquake Hazard Mitigation Handbook for Public Facilities. FEMA Region 10, Response & Recovery Division, Infrastructure Section, February 28, 2002, 63p.
- Kementerian PU. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. ISBN : 978-602-5489-01-3. 400p.
- Kersting, R. A., L. A. Fahnestock, dan W. A. López, 2015. Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames, A Guide for Practicing Engineers. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 11, 34p.
- Meilano, I, H. Z. Abidin, H. Andreas, D. Anggreni, I. Gumilar, T. Kato, H. Harjono, Zulfakriza, O. Dewi, Agustan, dan A. Rahman, 2010. Pergeseran koseismik dari Gempa Bumi Jawa Barat 2009. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, (1)1: 35-42. April.
- Nugroho, F. 2018. Pengaruh Penggunaan Bresing *Cross* dan *Inverted V* terhadap Penulangan Kolom Bangunan Gedung Beton Bertulang. Jurnal Momentum, Vol. 20 No.2 Agustus 2018, ISSN : 1693-752X, e-ISSN : 2581-091X. DOI 10.21063/JM.2018.V20.2. 94-101, ITP Press.
- Pradono, M.H. 2010. Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung BPPT Pasca Gempa Tasikmalaya 2 September 2009. J. Sains dan Teknologi Reduksi Risiko Bencana, 5(1): 16-30. November

- Pradono, M.H. 2019. Kajian Penerapan Standar Tahan Gempa pada Pemeriksaan Struktur Gedung Terbangun. J. Alami, 3(1): 1-9. Mei
- Sabelli, R., C. W. Roeder, J. F. Hajjar, 2013. Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame Systems, A Guide for Practicing Engineers. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 8, 36p.
- USGS. 2007. M 7.5 - Java, Indonesia. [terhubung berkala]. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/ventpage/usp000fj6k/impact> [27 Mei 2019].
- Wikipedia. 2007. Gempa bumi Jawa 2007. [terhubung berkala]. https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Jawa_2007 [27 Mei 2019].
- Wikipedia. 2009. Gempa bumi Jawa Barat 2009. [terhubung berkala]. https://id.wikipedia.org/wiki/Gempa_bumi_Jawa_Barat_2009 [27 Mei 2019].