

# PERKUATAN TERHADAP GEMPA MENGGUNAKAN *BUCKLING RESTRAINED BRACES* DAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER JACKETING* PADA BANGUNAN RUKO LIMA LANTAI TIDAK BERATURAN YANG DIDESAIN TERHADAP BEBAN GRAVITASI

Vincentius Arinata Cahaydi<sup>1</sup>, Yonatan Septian Wijaya<sup>2</sup>, Jimmy Chandra<sup>3</sup>

**ABSTRAK :** Dalam beberapa tahun belakangan ini, telah begitu banyak gempa yang melanda berbagai tempat di Indonesia. Fakta yang terjadi dilapangan menunjukkan kerusakan banyak terjadi pada ruko (rumah toko) di mana jenis bangunan tersebut pada umumnya hanya didesain terhadap beban gravitasi (*Gravity load designed*/GLD). Untuk menanggulangi kerusakan tersebut terdapat dua pilihan yaitu dengan menghancurkan bangunan GLD kemudian mendirikan bangunan baru yang didesain terhadap beban gempa atau memberikan *retrofit* pada bangunan GLD. Pilihan kedua akan diambil dan diteliti lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari bangunan GLD sebelum dan sesudah diperkuat menggunakan *Buckling Restrained Braces (BRB)* dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* pada bangunan ruko lima lantai tidak beraturan. Selain itu, permodelan bangunan juga lebih realistis yaitu dengan permodelan dinding bata yang memperhitungkan interaksi *In Plane/IP* dan *Out Of Plane/OOP*. Selanjutnya, karena perkuatan dengan menggunakan BRB saja tidak bisa memperkecil kerusakan yang terjadi, maka perkuatan BRB akan dikombinasikan dengan CFRP untuk melihat performanya dengan menggunakan analisis dinamis nonlinier riwayat waktu tiga dimensi dengan program *Open System for Earthquake Research Center Simulation (OpenSees)*. Hasil analisis diberikan dalam bentuk *maximum story displacement*, *maximum story drift*, dan lokasi terjadinya sendi plastis pada struktur bangunan tersebut. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa metode perkuatan menggunakan BRB dan CFRP bekerja dengan baik dalam meminimalkan kerusakan dan *drift* yang terjadi dan karenanya dapat dipakai dalam perkuatan struktur.

**KATA KUNCI:** bangunan GLD, BRB, FRP, IP, OOP, OpenSees.

## 1. PENDAHULUAN

Bangunan *Gravity Load Designed (GLD)* adalah bangunan yang hanya didesain berdasarkan beban gravitasi saja. Ketidakberaturan bentuk seperti *soft story*, bentuk bangunan yang tidak simetris, dan ketidakberaturan lainnya akan memperburuk kemampuan bangunan GLD terhadap gempa. Akibat kegagalan bangunan GLD ini, maka mulai berkembang metode untuk memperkuat struktur, dimana metode ini melakukan modifikasi pada bangunan yang sudah ada agar lebih tahan terhadap gempa. Shinpo (2009) memberikan contoh perkuatan dengan menggunakan bracing pada struktur 3 lantai. Selain itu ada juga perkuatan yang menggunakan lapisan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* pada kolom yang mengalami kegagalan (Motavalli & Czaderski, 2007). Penelitian ini akan menjelaskan strategi perkuatan struktur menggunakan *Buckling Restrained Braces (BRB)* yang dikombinasikan dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

---

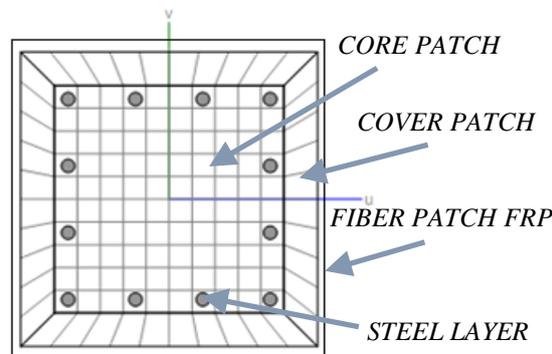
<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, arinata.xiaolong@gmail.com

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, yonatan.wijaya@gmail.com

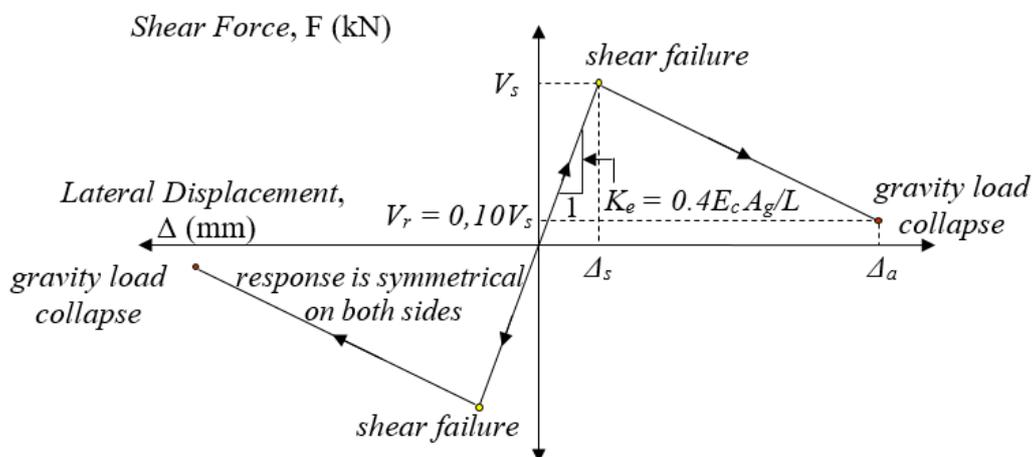
<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, chandra.jimmy@petra.ac.id

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

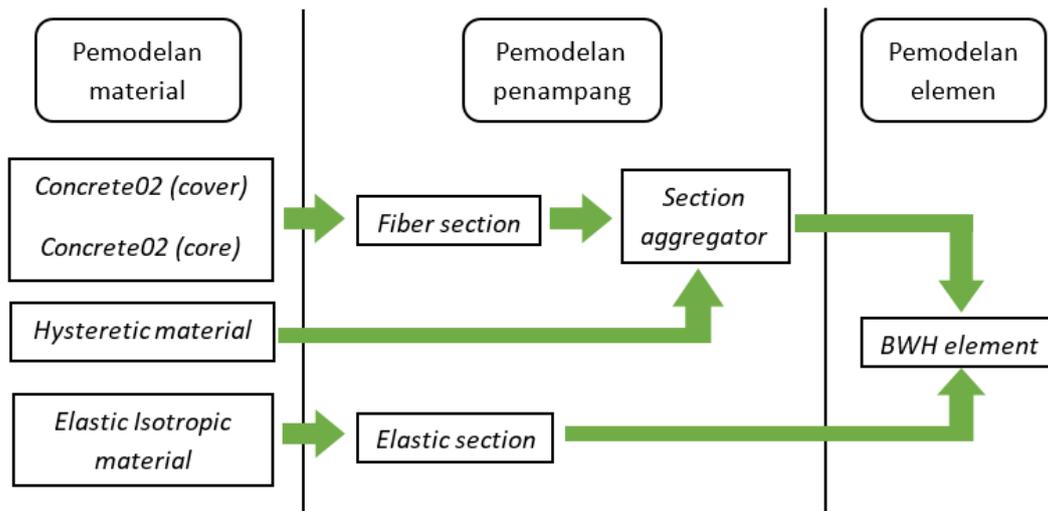
Perkuatan struktur dengan menggunakan BRB atau CFRP sudah pernah diteliti. Beberapa teknik yang pernah dilakukan dengan menggunakan FRP antara lain perkuatan pada specimen kolom yang dibebani aksial dan lateral yang dilakukan oleh Iacobucci et al (2003) dan perkuatan pada bangunan di Naples, Italia (Mazzolani, Corte, & Faggiano, 2006). Selain menggunakan FRP sebagai metode perkuatan, Mazzolani et al juga menggunakan BRB untuk memperkuat bangunan yang diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FRP *jacketing* dan BRB dapat menjadi alternatif perkuatan bangunan. Untuk menggambarkan setiap komponen penyusun struktur, digunakan *section beam with hinges*, yaitu *section* dengan kedua ujungnya merupakan sendi plastis, dan bagian tengahnya merupakan *section* elastis. Material-material yang telah disediakan oleh program Opensees untuk setiap elemennya, mulai dari material beton, tulangan baja, plat lantai, dinding bata, BRB dan CFRP. Material beton, dimodelkan sebagai *fiber section* dengan material *concrete02* dengan parameter di antaranya kuat tekan ( $f'_c$ ), modulus elastisitas ( $E_c$ ), dan regangan yang terjadi pada tegangan puncak ( $\epsilon'_c$ ), berdasarkan perumusan Mander et al (1998). Penggunaan CFRP dimodelkan sebagai tambahan layer pada saat mendefinisikan elemen beton seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Material baja, termasuk baja tulangan dan BRB menggunakan material *steel02* dengan parameter tegangan leleh ( $f_y$ ), modulus elastisitas baja ( $E_s$ ), dan rasio *strain hardening*. Baja tulangan dimodelkan sebagai *steel layer*, sementara BRB dimodelkan sebagai *truss element*. Plat lantai dimodelkan sebagai *rigid diaphragm*. Kapasitas geser baik balok maupun kolom menggunakan material *hysteretic* seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. *Section aggregator* digunakan untuk menggabungkan kapasitas geser dan lentur dari elemen struktur balok ataupun kolom. **Gambar 3** menunjukkan skema permodelan elemen struktur balok dan kolom.



Gambar 1. Contoh Hasil Permodelan *Fiber Section* dan FRP pada Beton

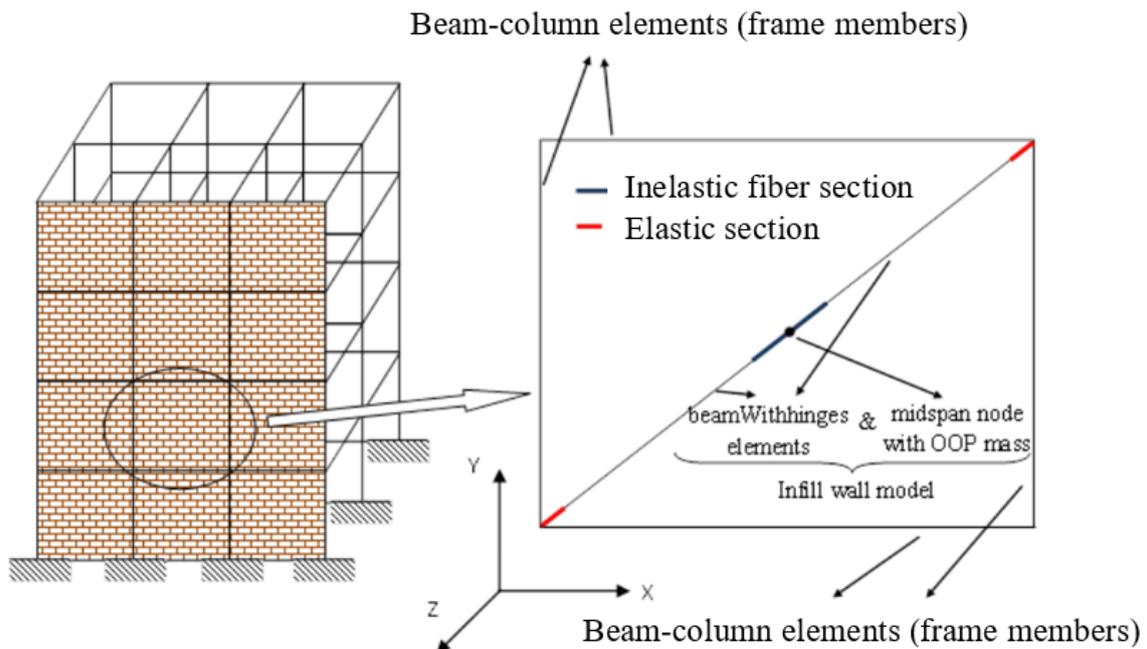


Gambar 2. Bentuk *Backbone* untuk Kemampuan Geser (Suthasit, 2007)



Gambar 3. Skema Permodelan Elemen Struktur Balok dan Kolom

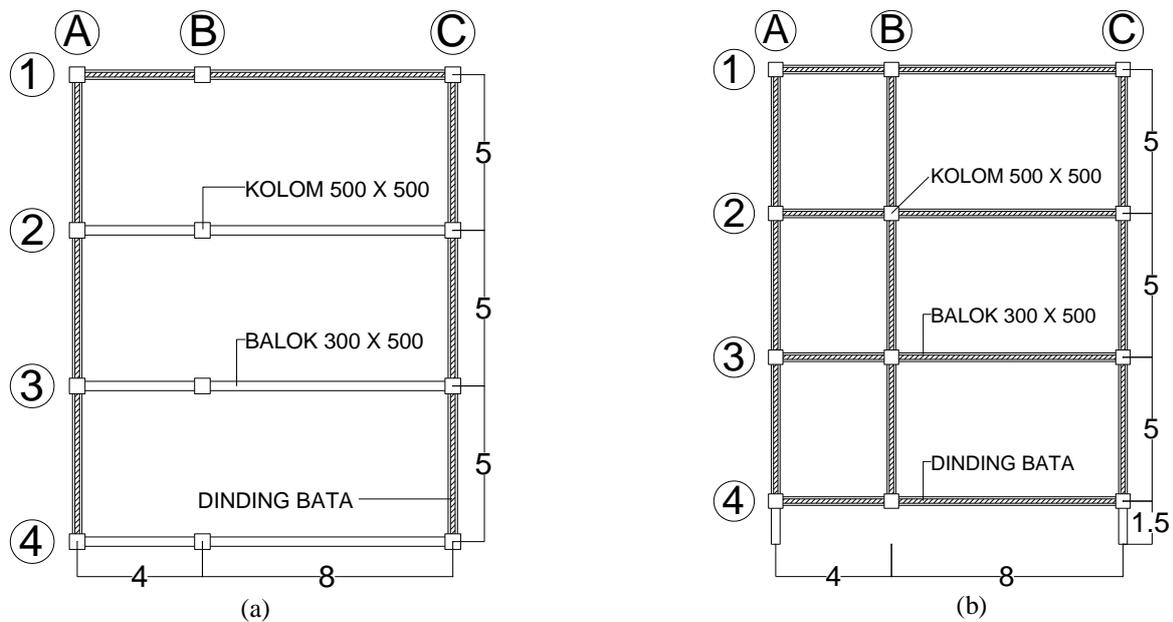
Elemen struktur dinding bata dimodelkan dengan dua elemen *beam with hinges*, dengan massa *Out Of Plane* (OOP) di tengah bentang. Permodelan ini dikembangkan oleh Gunay dan Mossalam (2010) dengan melihat penelitian yang dilakukan oleh Hashemi dan Mossalam (2007) yang melakukan penelitian dengan memperhitungkan interaksi *In Plane* (IP) dan *Out Of* (OOP). Perhitungan awal yang dilakukan didasarkan pada *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) 356. Hanya saja, di dalam FEMA-356 perhitungan IP dan OOP dihitung secara terpisah. Akan tetapi, Hashemi dan Mossalam memperkirakan bahwa interaksi IP dan OOP dapat berdampak signifikan dalam perhitungan struktur akibat beban gempa. Permodelan yang dilakukan oleh Gunay dan Mossalam (2010), memodelkan dinding bata seperti yang telah dijelaskan di atas dengan menggunakan elemen *beam with hinges*, dengan 2 material yaitu sepanjang sendi plastis dekat dengan massa OOP menggunakan material *Fiber* dan sepanjang sendi plastis di sisi yang lain menggunakan material elastis seperti pada Gambar 4.



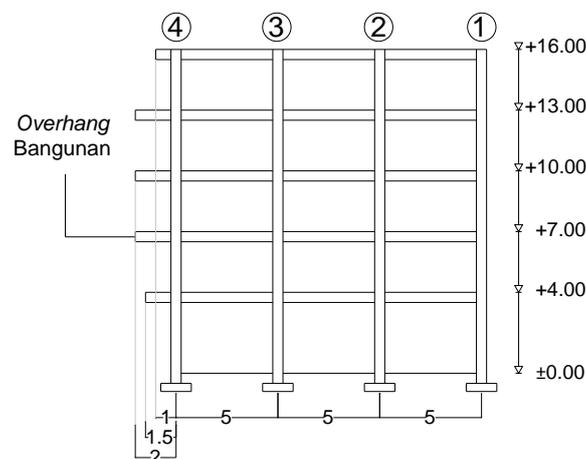
Gambar 4. Permodelan Dinding Bata (Gunay & Mossalam, 2010)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

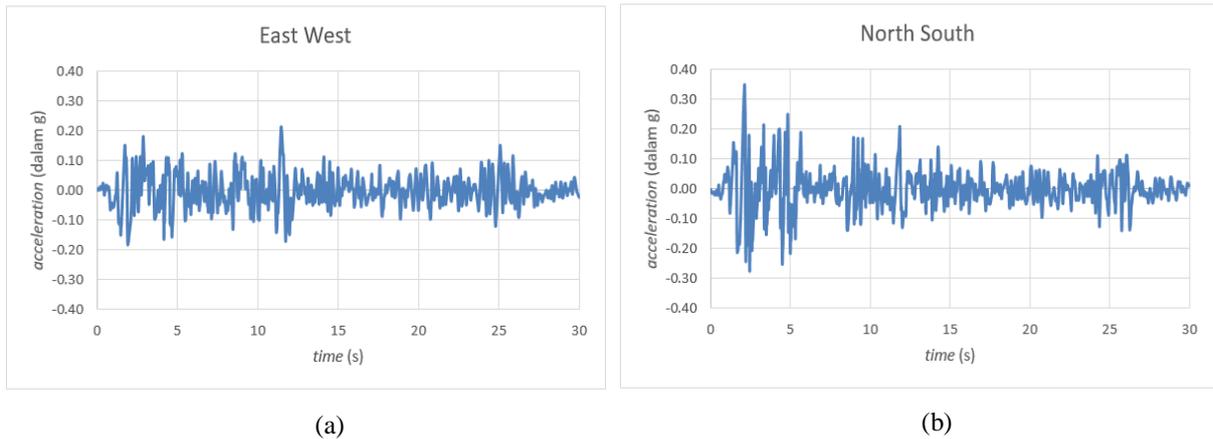
Dalam penelitian ini, untuk melihat evaluasi bangunan GLD sesudah dan sebelum diberi perkuatan dibagi menjadi 5 tahap. Sebelum tahap pertama dilakukan, terlebih dahulu dilakukan verifikasi terhadap material dan elemen yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya terhadap eksperimen. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa elemen dan material yang dipilih dapat memodelkan dengan baik perilaku struktur yang terkena beban gempa sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya, masuk ke tahap pertama yaitu mendesain struktur terhadap beban gravitasi saja. Desain dari penulangan balok dan kolom dapat dilihat pada **Tabel 1**. Bangunan seperti yang terlihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** memiliki ketidakberaturan torsi dan *soft story*. Tahap kedua yaitu melakukan analisa nonlinear riwayat waktu 3 dimensi dengan menggunakan acuan gempa El-Centro yang sudah di faktorkan sesuai dengan kategori desain *seismic* di Surabaya menggunakan program OpenSees. **Gambar 7** menunjukkan grafik gempa El-Centro terfaktor sesuai dengan peta gempa wilayah Surabaya. Tahap ketiga yaitu melakukan evaluasi kinerja bangunan yang telah dianalisa sebelum diberi perkuatan dengan parameter *maximum story drift*, *maximum story displacement*, dan lokasi terjadinya sendi plastis. Tahap keempat yaitu memberikan perkuatan pada struktur menggunakan BRB dan CFRP. Tahap kelima yaitu melakukan evaluasi bangunan setelah diperkuat untuk mengetahui performanya.



Gambar 5. Denah Struktur Bangunan GLD (a) Lantai 1 dan (b) Tipikal lantai 2-5



Gambar 6. Tampak Samping Bangunan GLD



Gambar 7. Gempa El-Centro Terfaktor Sesuai dengan Peta Gempa Wilayah Surabaya: (a) EW, (b) NS

Tabel 1. Dimensi dan Konfigurasi Penulangan Balok dan Kolom

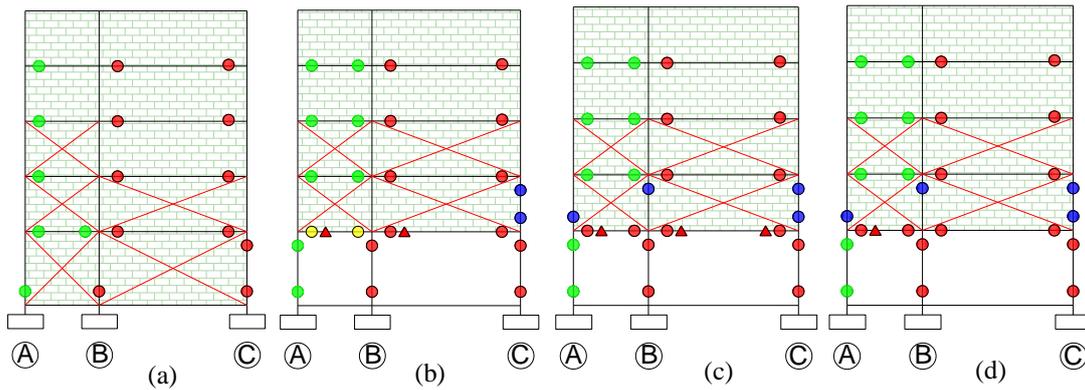
TIPE	KOLOM 3M & KOLOM 4M	TIPE	BALOK 4M & BALOK 5M	BALOK 8M
POTONGAN		POTONGAN		
TULANGAN UTAMA	12D19	TULANGAN ATAS	3D16	5D19
TULANGAN SENGKANG	2Ø8-150	TULANGAN BAWAH	2D16	3D19
		TULANGAN SENGKANG	2Ø8-200	2Ø10-150

#### 4. HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

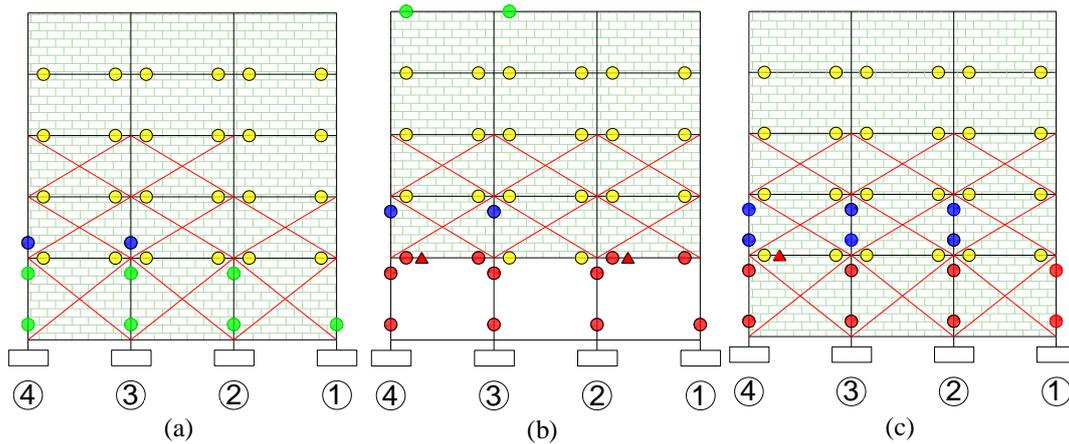
Hasil analisa menunjukkan bahwa bangunan mengalami kegagalan geser pada sejumlah balok lantai 2 yang membuat analisa berhenti pada detik ke 6.72 dengan *drift* kurang lebih sekitar 3.5%. Selain itu, terjadi kegagalan *soft story* lantai 1 sehingga hampir semua kolom mengalami sendi plastis pada fase *Collapse Prevention* (CP). **Gambar 8** menunjukkan notasi yang digunakan untuk menggambarkan kerusakan yang terjadi pada bangunan GLD sebelum dan sesudah diberi perkuatan. **Gambar 9** sampai dengan **Gambar 11** berikut, menunjukkan kerusakan dari masing-masing portal, *drift*, dan *displacement* yang terjadi pada bangunan GLD sebelum diberi perkuatan.



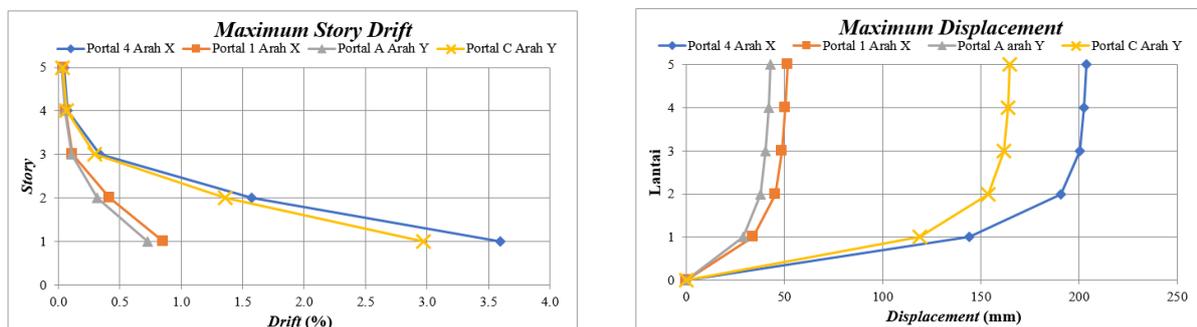
Gambar 8. Notasi Kerusakan Struktur pada Bangunan GLD



Gambar 9. Kerusakan Bangunan GLD Sebelum Diberi Perkuatan: (a) Portal 1, (b) Portal 2, (c) Portal 3, (d) Portal 4



Gambar 10. Kerusakan Bangunan GLD Sebelum Diberi Perkuatan: (a) Portal A, (b) Portal B, (c) Portal C

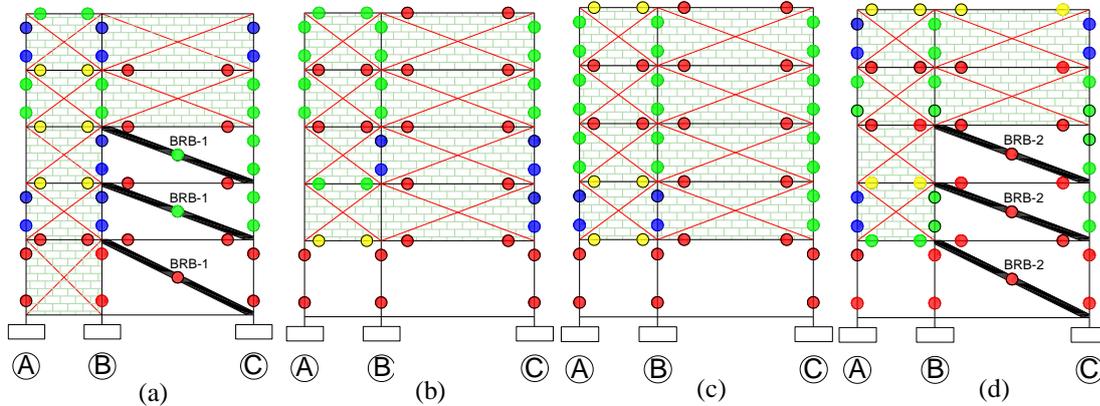


Gambar 11. Maximum Story Drift dan Maximum Displacement Bangunan GLD Sebelum Diberi Perkuatan

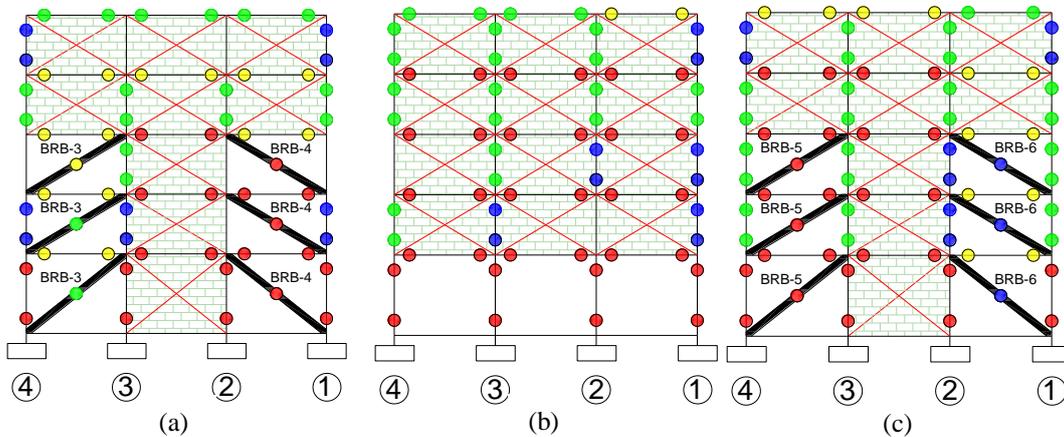
Perkuatan yang dilakukan yaitu dengan memberikan BRB pada lantai 1, 2, dan 3. **Tabel 2** menunjukkan luasan BRB dengan  $F_y$  240 Mpa, yang dipakai untuk bangunan GLD. Sementara, untuk mengurangi deformasi pada elemen kolom maupun balok, dilapisi 3 lapis CFRP pada semua elemen kolom lantai 1, 2 lapis CFRP pada semua elemen kolom lantai 2, 1 lapis CFRP pada semua elemen kolom lantai 3, dan 1 lapis CFRP pada semua elemen kolom lantai 4. Untuk elemen balok, dari lantai 2 sampai lantai 5 dilapisi dengan CFRP 1 lapis. Dengan diberi perkuatan ini, struktur berhasil menahan gempa selama 30 detik dengan *drift* kurang lebih sekitar 2%. **Gambar 12** dan **Gambar 13** menunjukkan letak pemasangan BRB sekaligus lokasi sendi plastis pada balok dan kolom, sementara **Gambar 14** menunjukkan *maximum story drift* dan *maximum story displacement* yang terjadi.

**Tabel 2. Luas BRB dengan  $F_y$  240 Mpa, yang Digunakan untuk Memperkuat Bangunan GLD**

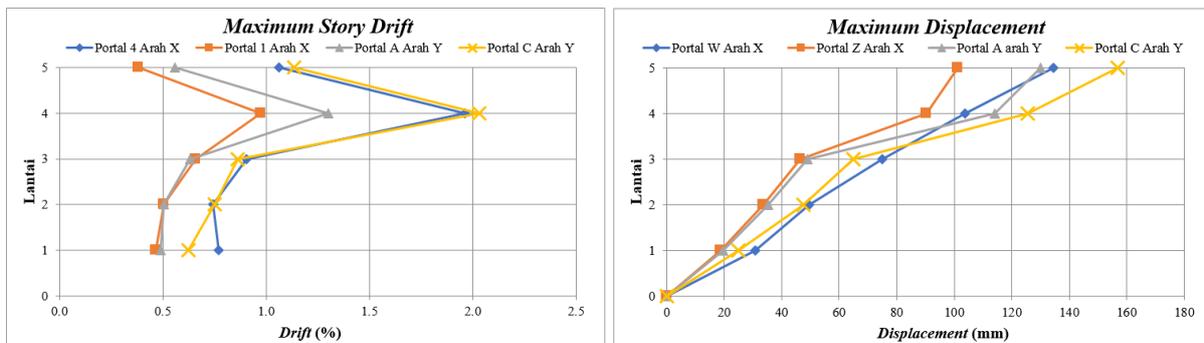
Story	Luas BRB ( $\text{mm}^2$ )					
	1	2	3	4	5	6
1	19318.4	25355.4	8050.8	8050.8	16115.6	16115.6
2	14488.8	14488.8	4604.5	4604.5	11511.2	11511.2
3	9659.2	9659.2	4604.5	4604.5	6906.7	6906.7



**Gambar 12. Kerusakan Bangunan GLD Setelah Diberi Perkuatan : (a) Portal 1, (b) Portal 2, (c) Portal 3, (d) Portal 4**



**Gambar 13. Kerusakan Bangunan GLD Setelah Diberi Perkuatan: (a) Portal A, (b) Portal B, (c) Portal C**



**Gambar 14. Maximum Story Drift dan Maximum Displacement Bangunan GLD Setelah Diberi Perkuatan**

## 5. KESIMPULAN

Evaluasi Kinerja bangunan GLD sebelum diberi perkuatan terhadap gempa sangat lemah. Hal ini terlihat dari terjadinya sendi plastis pada kolom, terutama pada kolom di lantai satu dan dua. Timbulnya sendi plastis pada kolom diakibatkan oleh terjadinya torsi yang terbukti dari tingkat kerusakan portal C yang lebih parah dibandingkan portal A, dan *soft story* lantai satu pada bangunan tersebut. Dari hasil analisis untuk perkuatan dengan metode BRB, dapat disimpulkan bahwa metode ini sebenarnya cukup untuk menahan gaya lateral dan *drift* yang terjadi, tetapi terjadinya sendi plastis dan kegagalan geser pada balok dan kolom menyebabkan perlunya metode BRB ini dikombinasikan dengan FRP *jacketing* agar bisa mengurangi kerusakan balok dan kolom terhadap gempa. Selanjutnya, dengan permodelan dinding bata yang mengalami interaksi *in-plane* dan *out of plane*, perilaku struktur mendekati realita yang terjadi di lapangan yaitu saat terjadi kegagalan *out of plane* pada dinding dan perkuatan yang diaplikasikan dapat lebih tepat sasaran. Dalam proses iterasi menentukan besar luasan dari BRB, harus tetap bergantung pada *story strength*, karena apabila besar luasan BRB lebih besar atau lebih kecil dari semestinya, akan menyebabkan *irregularity* tambahan pada struktur. Selain itu, apabila besar luasan BRB terlalu besar, tidak berdampak signifikan terhadap kekuatan struktur malah akan menyebabkan BRB menjadi tidak efektif, yaitu kondisi dimana BRB tidak leleh yang bertentangan dengan konsep *damage controlled structure*. Kesimpulan akhir dari penelitian ini adalah bahwa BRB dan CFRP dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk memberi perkuatan pada bangunan ruko lima lantai tidak beraturan terhadap gempa.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Gunay, M.S., & Mosalam, K.M. (2010). *Infill Wall Model and Element Removal*, University of California, Berkeley.
- Hashemi, S., & Mosalam, K. (2007). Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Including Effects of Infill Masonry Walls. *Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER*, 100.
- Iacobucci, R. D., Sheikh, S. A., & Bayrak, O. (2003). Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber-Reinforced Polymer for Seismics Resistance. *ACI Structural Journal*, Vol.100, No. 06.
- Mander, J., & Priestley, M. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *ASCE Journal*, Vol.114, No. 8, 1804-1826
- Mazzolani, F. M., Corte, G. D., & Faggiano, B. (2006). *Full Scale Testing and Analysis of Innovative Techniques for Seismic Upgrading of RC Building*, University of Naples "Federico II", Italy.
- Motavalli, M., & Czaderski, C. (2007). "FRP Composites for Retrofitting of Existing Civil Structures in Europe : state of the art review". *American Composites Manufacturers Association*.
- Shinpo, K. (2009). *Seismic Retrofitting for School Building in Japan*, National Institute for Educational Policy Research, Jepang.