

STUDI KOMPARASI TERHADAP LEVEL KINERJA STRUKTUR PADA KONDISI EKSTING DAN KONDISI PASCA PERBAIKAN PERKUATAN DENGAN ANALISIS *PUSHOVER*. STUDI KASUS: GEDUNG FAKULTAS HUKUM, UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA.

Luthfi Assholam Solamat¹, Mochamad Teguh²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 13511189@students.uii.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: m.teguh@uui.ac.id

The Yogyakarta Earthquake that occurred 26 may 2006 caused casualties and some buildings collapsed. One of the buildings Yogyakarta got its impact was the law faculty building of Islamic Univeristy of Indonesia. UII at the time of occurrence, the building did not collapse but needed repairs. In 2007 the building was conducted post-quake renovation by adding reinforced concrete x-bracing structures. With the implementation of post-quake renovation, it is necessary to evaluate the structure to examine the structural performances of the building.

At this study, the building evaluation is only focused on the Block B only consisting three floors. Both conditions either existing or strengthened building structures were evaluated for a sake comparison. Pushover analysis based on the FEMA 356 standard were carried out utilizing the SAP2000 version 14 software.

The analysis results showed that the strengthened building structures demonstrated a better building capacity in resisting lateral forces as representation of earthquake force. The analysis of the law faculty building of UII Block B at existing and strengthened conditions presented the building performance level at intermediate occupancy (IO). The resulted strong drift or displacement target decreased of 0.075 m and 0.005 m at the X and Y directions, based on the curve capacity and displacement target, the building structure performance level has been able to restrain simulated earthquake forces either at X or Y direction.

Keywords: *pushover, x-bracing, displacement coefficient method, evaluation, SAP2000*

1. PENDAHULUAN

Pada kejadian gempa bumi di Yogyakarta yang terjadi 26 mei 2006 telah menyebabkan kerusakan pada bangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia. Pada saat kejadian, gedung tersebut tidak sampai roboh tetapi membutuhkan perbaikan. Gedung tersebut pada tahun 2007 dilakukan renovasi pasca gempa, yang menyebabkan terjadinya penambahan struktur *x-bracing* dengan menggunakan beton bertulang. Dengan adanya pelaksanaan renovasi pasca gempa, maka perlu dilakukan evaluasi pada kekuatan struktur untuk memeriksa atau menguji bangunan Gedung Fakultas Hukum UII. Dalam melakukan evaluasi diperlukan suatu peraturan standar

yang baku dan komprehensif tentang metode yang dipakai dalam mengevaluasi. Dalam penelitian ini evaluasi menggunakan analisis *pushover* dengan metode koefisien perpindahan FEMA 356.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan:

1. pengaruh penambahan struktur *x-bracing* pada struktur gedung terhadap kurva kapasitas dengan analisis *pushover*?
2. pengaruh penambahan struktur *x-bracing* pada struktur gedung terhadap titik kinerja bangunan dengan analisis *pushover*?

3. pengaruh penambahan struktur *x-bracing* pada struktur gedung terhadap nilai simpangan atau target perpindahan dengan analisis *pushover*?
4. Pengaruh penambahan struktur *x-bracing* pada struktur gedung terhadap peningkatan kekakuan bangunan dengan analisis *pushover*?

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Evaluasi Dengan Analisis *Pushover*

Ada banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai evaluasi struktur bangunan untuk mengetahui kinerja struktur bangunan terhadap gaya gempa dengan analisis *pushover*.

Rachman dkk. (2014) meneliti bangunan gedung hotel 10 lantai di daerah Semarang dengan ETABS menunjukkan hasil *performance point* gedung adalah $V = 557,867$ ton; $D = 0,112$ m; $S_a = 0,058$ g; $S_d = 0,085$ m; $T_{eff} = 2,426$ detik; $\beta_{eff} = 0,166$. Dengan acuan dari ATC 40, berdasarkan nilai *drift* dan nilai *in-elastic drift* yang didapatkan, maka kinerja gedung nonlinier termasuk dalam *immediate occupancy*. Konsep desain *strong colum weak beam* terpenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok yang kemudian pada saat mencapai *performance point* mayoritas elemen kolom dan balok terbentuk sendi plastis kemudian pada sebagian elemen balok mencapai kondisi *in-elastic*.

Nugroho (2016) menentukan kinerja struktur dengan cara *pushover* terhadap struktur eksisting pada bangunan eksisting sekolah 2 lantai (bangunan A) dan bangunan sekolah 3 lantai (bangunan B) di daerah Padang menunjukkan hasil bangunan eksisting yang semula 2 lantai dapat ditambah menjadi 3 lantai berdasarkan kriteria peraturan SNI. Namun, berdasarkan kriteria FEMA kinerja struktur sudah melewati *life safety* bahkan mengalami *collapse*, sehingga kinerja struktur dapat dikatakan tidak baik. Hal ini disebabkan karena pada rumus untuk perhitungan FEMA 356 terdapat faktor modifikasi (faktor pengali), sehingga nilai perpindahan ultimit yang diperoleh lebih besar.

2.2. Analisis Nonlinier Statik (*Pushover Analysis*)

Menurut Pranata (2006), analisis beban statik dorong (*pushover analysis*) adalah suatu analisis nonlinier statik berupa beban-beban statik termasuk pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung yang terletak pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Analisis *pushover* dilakukan untuk mengetahui batas maksimum gaya dan deformasi yang dapat ditahan oleh struktur sampai komponen-komponen struktur tersebut leleh dan dalam keadaan plastis.

2.3. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode koefisien perpindahan merupakan metode dalam FEMA 356 yang digunakan untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 , sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastik) yang disebut target perpindahan (δ_T). Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif (T_e) yang memperhitungkan kondisi inelastik bangunan. Perpindahan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan berikut.

$$\delta_1 = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{4\pi}\right)^2 \cdot G \quad (1)$$

keterangan:

T_e = Waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis.

C_0 = Koefisien faktor bentuk, untuk mengubah perpindahan spektral menjadi atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan Tabel 3.2 (FEMA 356).

C_1 = Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

C_2 = Koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan berdasarkan Tabel 3.3 dari FEMA 356.

C_3 = Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P- Δ . Koefisien diperoleh dari secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu nonlinier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat), maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negative (kurva menurun).

S_a = Akselerasi respon spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

C_m = Faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3.1 dari FEMA 356.

α = Rasio kekuatan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear.

g = Percepatan gravitasi 9,81 m/det².

2.4. Batasan Drift Ratio FEMA 356

Hubungan antara level kinerja struktur dengan simpangan (*drift*) pada elemen vertikal dari sistem pemikul beban lateral berupa struktur rangka beton bertulang (*concrete frames*) dapat dilihat pada Tabel 1. Simpangan pada struktur gedung, nilai simpangan pada tabel tersebut merupakan nilai-nilai tipikal yang diberikan untuk menjelaskan respon struktur keseluruhan yang sesuai dengan berbagai level kinerja struktur.

Tabel 1 Batasan *drift ratio* untuk level kinerja (FEMA 356)

Level kinerja struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life safety</i>	2,0 1,0	<i>Transient</i> <i>Permanent</i>
<i>Collapse prevention</i>	4,0	<i>Transient</i> atau <i>permanent</i>

2.5. Pendefinisian Sendi Plastis pada Analisis Pushover

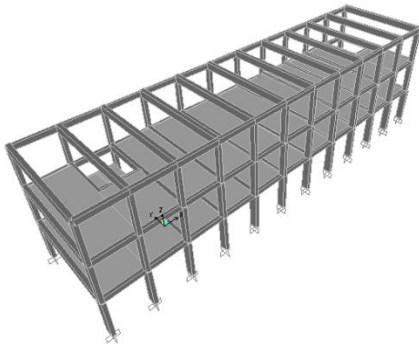
Yunus (2015) menjelaskan, ketika besar gaya geser dan gaya lentur yang terjadi akibat gempa bumi, lebih besar daripada kapasitas elemen struktur tersebut, maka akan terjadi sendi plastis. Sendi plastis terjadi ditandai dengan adanya tulangan baja plastis atau yang sudah leleh dan tidak mampu lagi ke bentuk semula. Simulasi pembebanan secara bertahap dilakukan sampai tulangan baja pada beton menjadi leleh dan berlanjut hingga bangunan runtuh.

Pada studi ini, input data *hinge properties* berupa analisis momen plastis dilakukan secara *auto* atau *default* pada Program SAP2000. Tujuan pemodelan sendi pada elemen struktur yaitu untuk mendefinisikan perilaku nonlinear *force-deformation*. Karakteristik deformasi elemen struktur sangat penting untuk mensimulasikan pembentukan sendi plastis dalam proses pembentukan kurva kapasitas hasil analisis *pushover* (Erlangga, 2017). Dalam analisa, elemen struktur kolom dan struktur *x-bracing* menggunakan tipe sendi *default* P – M2 – M3 dengan mempertimbangkan struktur tersebut mendapat gaya aksial dan momen, sedangkan struktur balok menggunakan tipe sendi *default* M3 dengan mempertimbangkan struktur balok menahan momen pada sumbu kuat.

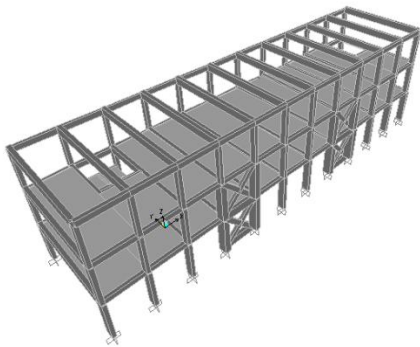
3. METODE PENELITIAN

3.1. Batasan Penelitian

1. Bangunan yang diteliti adalah Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia yang terletak di Jalan Taman Siswa No. 158, Mergangsan, Wirogunan, Yogyakarta, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta,
2. Penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja struktur pada kondisi eksisting dan kondisi pasca perbaikan dan perkuatan untuk masing-masing gedung FH UII pada blok B,



Gambar 1 Model struktur gedung Blok A eksisting



Gambar 2 Model struktur gedung blok B pasca perbaikan kekuatan

3. Hubungan fondasi dan kolom dianggap terjepit penuh,
4. Data bangunan disesuaikan dengan *shop drawing* (Renovasi Pasca Gempa Gedung Fakultas Hukum, 2007) dan survei langsung di lapangan,
5. Mutu beton berdasarkan uji *hammer test* langsung di lapangan:

kolom	= 40,93 MPa
balok	= 49,32 MPa
pelat	= 47,92 MPa
<i>x-bracing</i>	= 54,88 MPa
tangga	= 46,47 MPa
6. Dokumen teknik gedung ini sudah tidak ditemukan atau diarsipkan lagi. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan data (tulangan pokok dan sengkang) dari foto-foto hasil dokumentasi sebelum proses renovasi gedung pasca kejadian gempa 2006 dikerjakan.
7. Pasca perbaikan dan kekuatan pada gedung, ternyata struktur kolom utama mengalami kekuatan dengan *concrete*

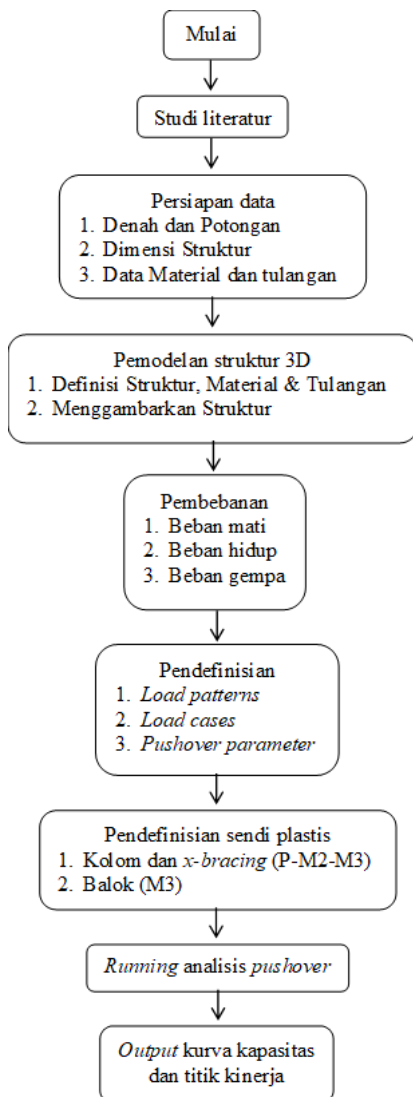
jacketing dan adanya struktur tambahan berupa struktur *x-bracing*. Pada kolom dengan kekuatan *concrete jacketing* menyebabkan terjadinya pembesaran dimensi/penampang yang tidak simetris baik pada sumbu kolom maupun terhadap dimensi kolom yang lain. Sebagai akibat dari pembesaran dimensi/penampang tersebut, penempatan tulangan pada kolom menjadi tidak simetris karena untuk kemudahan pelaksanaan di lapangan, maka untuk keperluan analisis tugas akhir dilakukan simplikasi/penyederhanaan dengan asumsi luas tulangan total hasil dari kekuatan, penempatannya disebar secara proporsional sesuai dengan kebutuhan kekuatan portal.

8. Analisis
 - a. Gedung dianalisis secara 3 dimensi,
 - b. Tumpuan dianggap jepit,
 - c. Pemodelan dibuat sebagai *open frame*,
 - d. Balok, kolom, dan *x-bracing* didefinisikan sebagai *frame*,
 - e. Pelat dimodelkan sebagai *shell*,
 - f. Jumlah tingkat yang dianalisis adalah 3 tingkat,
 - g. Gaya lateral yang ditinjau adalah beban statik ekuivalen dengan arah pembebanan 2 arah Yaitu X dan Y,
 - h. Beban atap disalurkan ke tiap titik pada kolom di lantai paling atas,
 - i. Analisis nonlinier yang dilakukan dalam evaluasi adalah analisis nonlinier statik (*pushover analysis*) menggunakan program SAP2000 v.14,
 - j. Analisis statik *pushover* yang digunakan sesuai prosedur pada FEMA 356 yang telah *built-in* dalam program SAP2000,
 - k. Pendefinisian sendi plastis pada elemen struktur kolom, balok, dan *x-bracing* dilakukan secara *auto* pada program SAP2000.
9. Peraturan

- a. Evaluasi kinerja struktur mengacu pada FEMA 356 – *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*,
- b. Perhitungan dan analisis beban gempa rencana mengacu pada SNI 1726 - 2012 – Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung,
- c. Pembebanan pada analisis mengacu pada SKBI – 1.3.53.1987 – Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

3.2. Tahapan Penelitian

Proses penelitian secara lengkap diilustrasikan dalam bagan alir pada Gambar 3.



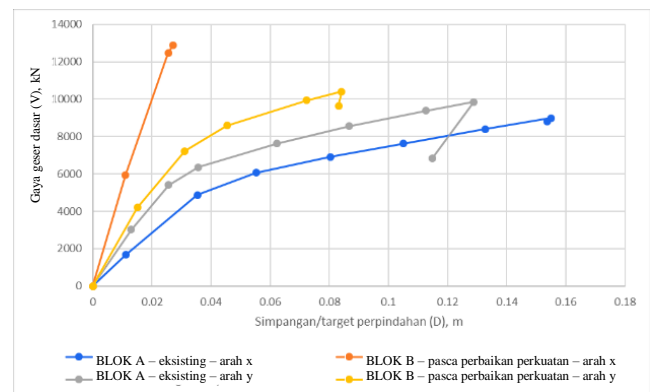
Gambar 3 Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kurva Kapasitas

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa penambahan struktur *x-bracing* berpengaruh terhadap hasil kurva kapasitasnya. Gedung dengan penambahan struktur *x-bracing* memiliki kurva yang lebih tegak yang berarti bangunan lebih kaku dibandingkan gedung tanpa penambahan struktur *x-bracing*.

Untuk grafik struktur gedung blok B yang terlihat pada Gambar 4, kurva kapasitas pembebanan arah X dan arah Y menunjukkan gaya geser dasar yang lebih besar dengan simpangan yang lebih kecil pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan dibandingkan kondisi eksisting. Hal ini membuktikan bahwa penambahan struktur *x-bracing* pada gedung blok B mampu memberikan peningkatan kapasitas struktur yang optimal untuk menahan gaya lateral yang lebih baik dibandingkan tanpa penambahan struktur *x-bracing*. Kurva kapasitas pada gedung blok B juga menunjukkan bahwa kondisi terbaik gedung dalam menahan gaya lateral yaitu pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan dengan pembebanan arah X dan arah Y.

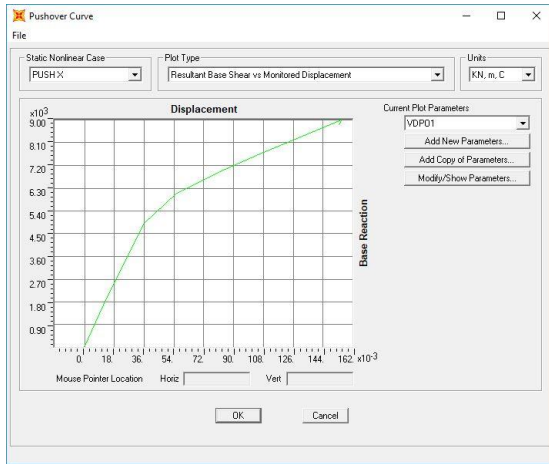


Gambar 4 Perbandingan kurva kapasitas struktur gedung arah X dan arah Y pada Blok B

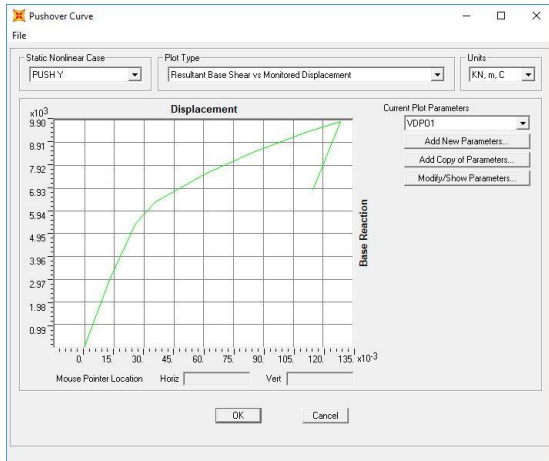
4.2. Titik Kinerja Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Untuk melihat titik kinerja hasil analisis metode koefisien perpindahan (FEMA 356) pada SAP2000 yaitu dengan cara menampilkan *Show Static Pushover Curve*, pada pilihan *Plot Type* pilih opsi *FEMA 356 Coefficient Method*. Pada kotak *box dialog*

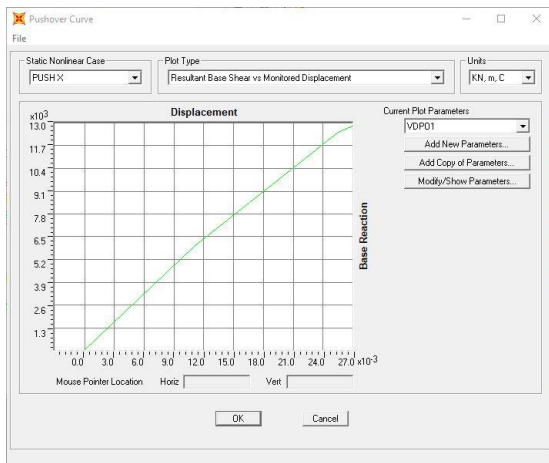
akan muncul kurva *pushover* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 sampai Gambar 8.



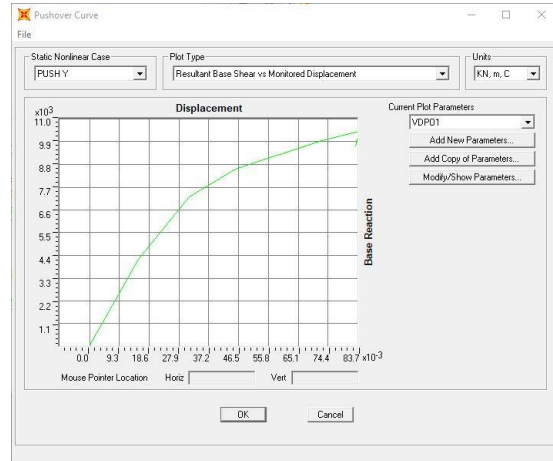
Gambar 5 Kurva Pushover Blok B eksisting arah X



Gambar 6 Kurva Pushover Blok B eksisting arah Y



Gambar 7 Kurva Pushover Blok B pasca perbaikan perkuatan arah X



Gambar 8 Kurva Pushover Blok B pasca perbaikan perkuatan arah Y

Dari Gambar 5 sampai Gambar 8, gaya geser dasar dan *displacement* yang terjadi pada saat target perpindahan tercapai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Target perpindahan metode FEMA 356 pada Blok B

arah pembebanan pushover	gaya geser dasar (V_I) (kN)	target perpindahan (FEMA 356)	
		V_t (kN)	δ_t (m)
arah x eksisting	1860.52	7452.592	0.099
arah y eksisting	1860.52	7403.836	0.058
arah x pasca perbaikan dan perkuatan	1989.85	11592.327	0.024
arah y pasca perbaikan dan perkuatan	1989.85	8984.738	0.053

Dari Tabel 2 dapat dilihat nilai gaya geser dasar akibat beban lateral arah X sebesar $V_{tx} = 7452,592 \text{ kN} > V_I = 1860,52 \text{ kN}$ dan arah Y sebesar $V_{ty} = 7403,836 \text{ kN} > V_I = 1860,52 \text{ kN}$ untuk blok B eksisting, nilai gaya geser dasar akibat beban lateral arah X sebesar $V_{tx} = 11592,327 \text{ kN} > V_I = 1989,85 \text{ kN}$ dan arah Y sebesar $V_{ty} = 8984,738 \text{ kN} > V_I = 1989,85 \text{ kN}$ untuk blok B pasca perbaikan dan perkuatan, maka berdasarkan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) perilaku struktur arah X dan arah Y pada gempa rencana dalam **kondisi inelastik (plastis)** karena nilai gaya geser dasar yang terjadi telah melampaui gaya geser yang ada pada bangunan ($V_i > V_I$).

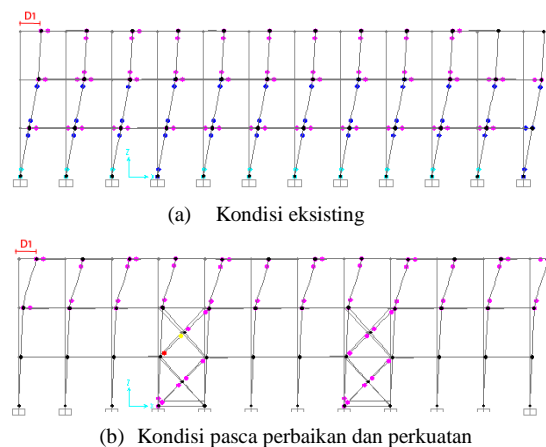
Batasan maksimum simpangan untuk kondisi batas ultimit yaitu $0,02 \times H = 0,02 \times 12 \text{ m} = 0,24 \text{ m}$. Target *displacement* akibat

beban lateral arah X sebesar $0,099\text{ m} < 0,24\text{ m}$ dan akibat beban lateral arah Y sebesar $0,058\text{ m} < 0,24\text{ m}$ untuk blok B eksisting, target *displacement* akibat beban lateral arah X sebesar $0,024\text{ m} < 0,24\text{ m}$ dan akibat beban lateral arah Y sebesar $0,053\text{ m} < 0,24\text{ m}$ untuk blok B pasca perbaikan dan perkuatan, sehingga struktur tersebut **memenuhi syarat keamanan** karena nilai simpangan yang terjadi masih kurang dari nilai batas simpangan ultimit yang telah ditetapkan.

Batasan *drift ratio* menurut metode FEMA 356 ditentukan dari perbandingan *roof drift* dengan tinggi total bangunan. Untuk blok B eksisting, nilai *drift ratio* arah X = $0,099/12 = 0,825\% < 1\%$ (*transient*) dan nilai *drift ratio* arah Y = $0,058/12 = 0,483\% < 1\%$ (*transient*) yang berarti kinerja level bangunan termasuk kriteria **Immediate Occupancy**. Untuk blok B pasca perbaikan dan perkuatan, nilai *drift ratio* arah X = $0,024/12 = 0,200\% < 1\%$ (*transient*) dan nilai *drift ratio* arah Y = $0,053/12 = 0,442\% < 1\%$ (*transient*) yang berarti level kinerja level bangunan termasuk kriteria **Immediate Occupancy**. Penentuan kinerja level bangunan ini berdasarkan *drift ratio* untuk level kinerja FEMA 356 yang telah dijelaskan pada Tabel 1.

4.3. Tinjauan Penempatan struktur *x-bracing* yang optimal

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok, kolom, dan *x-bracing*. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok, kolom, dan *x-bracing* menahan gaya dalam sehingga mengakibatkan terjadinya simpangan atau perpindahan. Struktur *x-bracing* berfungsi untuk menahan gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa dengan memberikan kekakuan pada struktur gedung. Sehingga, struktur gedung yang memiliki struktur *x-bracing* memiliki simpangan atau perpindahan yang lebih kecil daripada struktur gedung tanpa struktur *x-bracing*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Nilai Simpangan atau target perpindahan struktur blok B pada kondisi eksisting (a) dan pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan (b)

Berdasarkan kurva kapasitas dari hasil analisis didapatkan bahwa penambahan struktur *x-bracing* pada bangunan blok B memberikan peningkatan kapasitas struktur yang lebih baik dari kondisi eksisting ke kondisi pasca perbaikan dan perkuatan. Berdasarkan nilai simpangan atau target perpindahan dari hasil analisis didapatkan bahwa penambahan struktur *x-bracing* pada blok B memberikan penurunan nilai simpangan atau target perpindahan. Hal tersebut karena nilai simpangan atau target perpindahan diukur dari *joint control* pada pusat massa lantai paling atas bangunan (lantai 3). Selain itu, penambahan struktur *x-bracing* pada gedung berpengaruh terhadap peningkatan kekakuan bangunan. Untuk arah X terjadi peningkatan kekakuan sebesar 278,63% dan untuk arah Y terjadi peningkatan sebesar 21,74% dari kondisi eksisting ke kondisi pasca perbaikan perkuatan. Pada arah X terjadi peningkatan kekakuan yang lebih besar dibandingkan pada arah Y karena penambahan struktur *x-bracing* pada gedung ditempatkan searah arah X. Sedangkan, pada arah Y terjadi peningkatan kekakuan dikarenakan adanya pembesaran dimensi struktur searah arah Y sebagai akibat dari penambahan struktur *x-bracing*.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penambahan struktur *x-bracing* berpengaruh terhadap hasil kurva kapasitas. Pada bangunan gedung blok B penambahan struktur *x-bracing* sama-sama memberikan peningkatan kapasitas struktur pada kedua arah pembebanan, baik arah X dan arah Y dalam menahan gaya lateral.
2. Penambahan struktur *x-bracing* berpengaruh terhadap level kinerja bangunan yang berdasarkan batasan *drift ratio* metode FEMA 356. Untuk blok B kondisi eksisting dan kondisi pasca perbaikan dan perkuatan, pada pembebanan arah X dan arah Y level kinerja bangunannya termasuk kriteria *Immediate Occupancy*.
3. Penambahan struktur *x-bracing* berpengaruh terhadap nilai simpangan atau target perpindahan struktur. Pada bangunan gedung blok B terjadi penurunan sebesar 0,079 m dari nilai sebesar 0,104 m pada kondisi eksisting menjadi 0,025 m pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan untuk pembebanan arah X dan untuk pembebanan arah Y terjadi penurunan sebesar 0,004 m dari nilai sebesar 0,062 m pada kondisi eksisting menjadi 0,058 m pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan.
4. Penambahan struktur *x-bracing* pada gedung FH UII sudah optimal pada blok B karena terjadi penurunan nilai simpangan atau target perpindahan dan terjadi peningkatan kapasitas struktur pada kedua arah pembebanan, baik arah X dan arah Y. Penambahan struktur *x-bracing* pada gedung FH UII berpengaruh terhadap peningkatan kekakuan bangunan. Untuk arah X terjadi peningkatan kekakuan sebesar 278,63% dan untuk arah Y terjadi peningkatan sebesar 21,74% dari kondisi eksisting ke kondisi pasca perbaikan perkuatan. Semakin tinggi kekakuan yang dimiliki oleh struktur gedung, maka nilai simpangan atau target

perpindahan yang terjadi akan semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Jakarta.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. SKBI-1.3.53.1987. Jakarta.
- [3] Erlangga, M. A. 2017. Pengaruh Variasi Dimensi Kolom Pada Beda Tingkat Terhadap Kurva Kapasitas Struktur Bangunan Menggunakan Analisis Pushover. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA-356). 2000. *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Virginia American Society of Civil Engineers.
- [5] Nugroho F. 2016. *Penerapan Analisis Pushover untuk menentukan Kinerja Struktur pada Bangunan Pasca perbaikan dan perkuatan Gedung Beton Bertulang*. Jurnal Momentum. Padang 2016: 1693-752X (Vol. 8. No. 2).
- [6] Pranata, Y.A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 3 No. 1. Universitas Kristen Maranatha Bandung.
- [7] Rachman N. Z. dkk. 2014. *Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover menggunakan Software ETABS (studi kasus: Bangunan Hotel di Semarang)*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil. Semarang. Desember 2014: 681-687.