

## EVALUASI SEISMİK GEDUNG BERTINGKAT EKSTING MENGGUNAKAN PROSEDUR ASCE 41-17

Yuliar Azmi Adhitama<sup>1</sup>, Bambang Supriyadi<sup>2</sup> dan Bambang Suhendro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: [adhitamaazmi@gmail.com](mailto:adhitamaazmi@gmail.com)

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: [bambang.supri@ugm.ac.id](mailto:bambang.supri@ugm.ac.id)

<sup>3</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: [bsuhendro@ugm.ac.id](mailto:bsuhendro@ugm.ac.id)

### ABSTRACT

The XYZ building is a 5-story reinforced concrete building with an earthquake resistance planning process using the SNI 1726:2002 standard, while the new earthquake resistance planning standard is currently in effect referring to SNI 1726:2019. Earthquake map updates and design spectra design methods make the evaluation process of earthquake resistance interesting to study so that it can determine the performance of building structures. ASCE 41-17 is a standard published by the American Society of Civil Engineers guiding seismic evaluation and retrofit of existing buildings. The evaluation process is based on secondary asbuilt drawing data which is analyzed using a nonlinear static procedure (pushover) with the SAP2000 program. The results of the structural analysis are reviewed globally; the XYZ Building is able to withstand lateral forces up to the displacement target and meets the Immediate Occupancy performance target for the BSE-1E seismic hazard and the Life Safety performance target for the BSE-2E seismic hazard. The distribution of plastic hinges occurs in the beam first, so it fulfills the strong column weak beam principle. However, if viewed in more detail, beam G2 does not meet the requirements when evaluated using a nonlinear static method with a  $\gamma\chi$  coefficient (DCR 1.14) and if it is not multiplied by the  $\gamma\chi$  coefficient the beam still meets the requirements with (DCR 0.91). Column capacity in accepting demand as a whole meets the requirements with a ratio of less than 1. Each type of column meets the requirements when demand is not multiplied by the  $\gamma\chi$  coefficient or after being multiplied by the  $\gamma\chi$  coefficient.

Keywords: performance, static, nonlinear, pushover, ASCE 41-17

### ABSTRAK

Gedung XYZ merupakan gedung beton bertulang 5 lantai dengan proses perencanaan ketahanan gempa gedung menggunakan standar SNI 1726:2002, sedangkan saat ini berlaku standar perencanaan ketahanan gempa yang baru mengacu pada SNI 1726:2019. Perubahan peta gempa dan cara perancangan spektra desain menjadikan proses evaluasi ketahanan gempa menjadi menarik untuk diteliti sehingga dapat mengetahui kinerja struktur bangunan. ASCE 41-17 adalah standar yang diterbitkan oleh *American Society of Civil Engineers* mengatur evaluasi seismik dan evaluasi perbaikan bangunan eksisting. Proses evaluasi berdasarkan data sekunder *asbuilt drawing* yang dianalisis menggunakan prosedur statik nonlinier (*pushover*) dengan program SAP2000. Hasil analisis struktur ditinjau secara global, Gedung XYZ mampu menahan gaya lateral sampai pada *displacement target* dan memenuhi target kinerja *Immediate Occupancy* untuk *seismic hazard* BSE-1E dan target kinerja *Life Safety* untuk *seismic hazard* BSE-2E. Distribusi sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu, sehingga memenuhi prinsip *strong column weak beam*. Namun jika dilihat lebih detail, balok G2 tidak memenuhi persyaratan ketika dievaluasi menggunakan metode statik nonlinier dengan koefisien  $\gamma\chi$  (DCR 1,14) dan jika tidak dikalikan koefisien  $\gamma\chi$  balok tersebut masih memenuhi syarat dengan (DCR 0,91). Kapasitas kolom dalam menerima *demand* secara keseluruhan memenuhi syarat dengan rasio kurang dari 1. Setiap jenis kolom memenuhi syarat baik ketika *demand* tidak dikalikan dengan koefisien  $\gamma\chi$  maupun setelah dikalikan dengan koefisien  $\gamma\chi$ .

Kata kunci: kinerja, statik, nonlinier, *pushover*, ASCE 41-17

## 1. PENDAHULUAN

Pada awal tahun 2021 Indonesia kembali mengalami gempa bumi dengan kekuatan 6,2 Mw dengan kedalaman 10 km yang bersumber 6 km timur laut dari Kota Majene, Provinsi Sulawesi Barat. Gempa tersebut mengakibatkan bangunan gedung dan infrastruktur rusak dan sebagian rumah sakit tidak bisa difungsikan karena rusak berat. SNI 1726:2019

Corresponding Author

E-mail Address : [adhitamaazmi@gmail.com](mailto:adhitamaazmi@gmail.com)

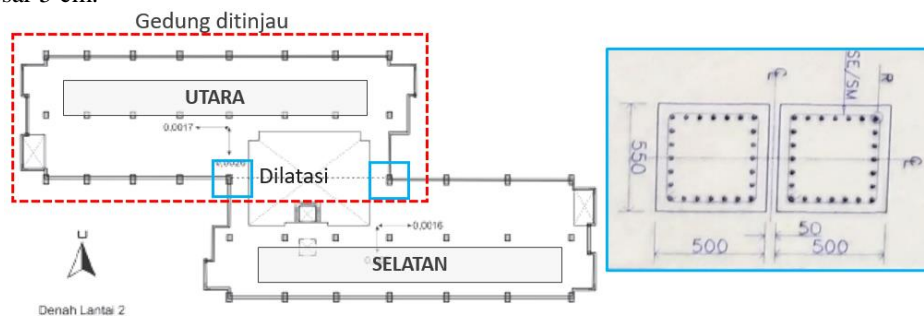
mengatur bahwa bangunan rumah sakit digolongkan pada bangunan dengan kategori risiko IV yang memiliki target keandalan untuk stabilitas struktur akibat beban gempa yang ketat, yaitu 2,5% peluang kegagalan akibat  $MCE_R$ .

Bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini merupakan Gedung XYZ 5 lantai yang mempunyai 2 sisi gedung yang dibatasi oleh dilatasi, terletak di Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini hanya meninjau bangunan Gedung XYZ sisi utara saja. Bangunan tersebut dibangun pada tahun 2003-2004, proses perencanaan ketahanan gempa gedung menggunakan standar yang berlaku pada saat itu, yaitu SNI 1726:2002. Sedangkan saat ini berlaku standar perencanaan ketahanan gempa yang baru mengacu pada SNI 1726:2019. Perubahan peta gempa dan cara perancangan spektra desain menjadikan proses evaluasi ketahanan gempa pada gedung ini menjadi menarik untuk diteliti sehingga dapat mengetahui kinerja struktur ketika dikenai gempa rencana sesuai peraturan yang berlaku saat ini.

Prosedur statik nonlinier menggunakan model matematik yang menggabungkan karakteristik beban-deformasi nonlinier dari masing-masing komponen pada bangunan dengan peningkatan beban lateral secara monotonik sebagai representasi dari gaya inersia pada gempa sampai target perpindahan terlampaui atau bisa juga disebut analisis *pushover*. Menurut Dewobroto (2006), analisis *pushover* merupakan prosedur untuk mengetahui keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dengan memberikan pola beban lateral statik pada struktur, kemudian ditingkatkan secara bertahap sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik tercapai.

### Pengujian frekuensi alami Gedung

Karakteristik dinamik pada gedung ini telah diteliti oleh Halisa (2010) melalui pengujian mikro. Pengukuran dilakukan pada lantai dasar, lantai 2 dan pada lantai 4 pada kedua sisi gedung yang berbeda (lihat Gambar 1). Sehingga dari hasil pengukuran dapat dihitung indeks kerentanan dan percepatan yang masih dapat diterima oleh bangunan dengan menggunakan rumus Nakamura. Diperoleh nilai frekuensi alami gedung arah U-S adalah 2,6367 Hz dan pada arah B-T adalah 2,7832 Hz. Percepatan maksimum hasil pengukuran pada gedung adalah 1010,27  $cm/det^2$ , 5,05 kali lebih besar dari yang disyaratkan, sehingga gedung dapat digolongkan aman. Pemodelan numerik dengan beban time history berupa rekaman gempa El Centro tidak menyebabkan benturan antar struktur yang berhimpit dengan dilatasi eksisting sebesar 5 cm.



Gambar 1. Denah gedung yang dievaluasi

## 2. DASAR TEORI

### Target level kinerja bangunan eksisting

ASCE 41-17 mensyaratkan bahwa target level kinerja suatu bangunan harus terdiri dari target struktural dan target nonstruktural. *Basic Performance Objective for Existing Building* (BPOE) adalah Target kinerja dasar untuk bangunan eksisting yang mensyaratkan dilakukan evaluasi.

Tabel 1. *Basic performance objective for existing building* (BPOE)

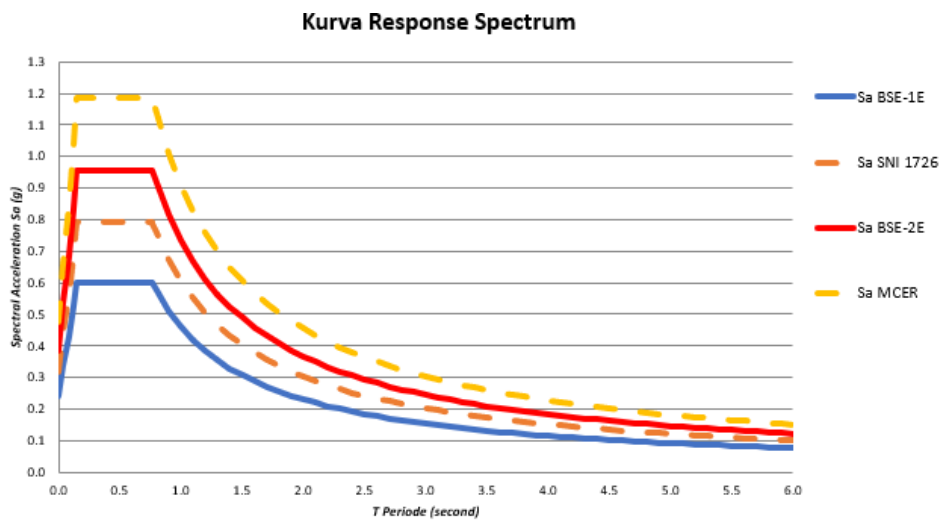
Kategori Risiko	Level Bahaya Gempa	
	BSE-1E	BSE-2E
I & II	<i>Life safety structural performance</i> <i>Life safety nonstructural performance</i> (3-C)	<i>Collapse prevention structural performance</i> <i>Hazards reduced nonstructural performance</i> (5-D)
III	<i>Damage control structural performance</i> <i>Position retention nonstructural performance</i> (2-B)	<i>Limited safety structural performance</i> <i>Hazards reduced nonstructural performance</i> (4-D)
IV	<i>Immediate occupancy structural performance</i> <i>Position retention nonstructural performance</i> (1-B)	<i>Life safety structural performance</i> <i>Hazards reduced nonstructural performance</i> (3-D)

**Seismic hazard**

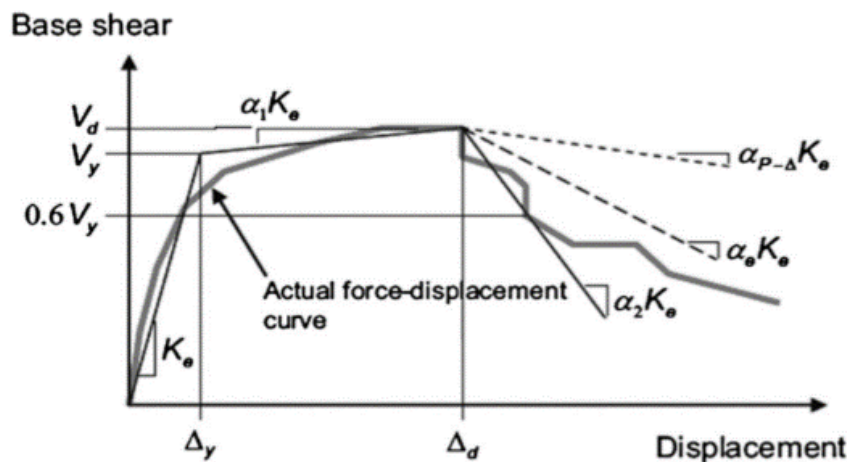
Besaran gaya gempa atau dikenal dengan *seismic hazard* diatur dalam ASCE/SEI 41-17 pasal (2.4.1). Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan dua tingkat besaran gaya gempa yaitu BSE-1E dan BSE-2E. BSE-1E merupakan gempa desain dengan periode ulang (*return period*) 225 tahun dengan 20% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun. BSE-2E merupakan gempa desain dengan periode ulang (*return period*) 975 tahun dengan 5% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun. Grafik respons spektrum BSE-1E dan BSE-2E pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

**Prosedur statik nonlinier ASCE 41-17**

Prosedur *Nonlinear Static Procedure* (NSP) menggunakan model matematik yang menggabungkan karakteristik beban-deformasi nonlinier dengan peningkatan beban lateral monotonik sampai target perpindahan terlampaui. Hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan lateral titik kontrol harus ditetapkan untuk rentang titik kontrol perpindahan antara 0 dan 150% dari target perpindahan. Beban lateral diberikan pada model matematik sesuai dengan proporsi terhadap distribusi massa pada tiap bidang diafragma lantai. Hubungan gaya-peripndahan nonlinier antara geser dasar dan perpindahan titik kontrol harus diubah dengan hubungan yang diidealisasi untuk menghitung kekakuan lateral efektif,  $K_e$  dan kekuatan leleh efektif,  $V_y$ , dari bangunan seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Respons spektrum BSE-1E dan BSE-2E



Gambar 3. Kurva idealisasi *base shear-displacement*

Komponen beban gravitasi,  $Q_G$  harus dimasukkan dalam model matematik dengan kombinasi gaya gempa sesuai persamaan (1) dan waktu getar alami efektif,  $T_e$ , dihitung sesuai persamaan (2).

$$Q_G = Q_D + Q_L + Q_S \tag{1}$$

dengan  $Q_D$  = beban mati,  $Q_L$  = beban hidup dan  $Q_S$  = beban salju.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2)$$

dengan  $T_i$  = waktu getar alami elastis,  $K_i$  = kekakuan lateral elastis dan  $K_e$  = kekakuan lateral efektif.

Target perpindahan,  $\delta_t$  dihitung sesuai dengan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3)$$

dengan  $C_0$  = faktor modifikasi untuk spektral simpangan SDOF terhadap MDOF,  $C_1$  = faktor modifikasi simpangan maksimum inelastic terhadap simpangan hitungan respon linier elastik,  $C_2$  = faktor modifikasi efek bentuk *pinched hysteresis*,  $S_a$  = respon spektrum percepatan pada periode fundamental efektif dan  $g$  = percepatan gravitasi.

Prosedur analisis statik linear, dinamik linear, dan statik nonlinear digunakan redaman sebesar 5% respon spektra dalam analisis. Kriteria penerimaan untuk yang digunakan pada prosedur nonlinier menurut ASCE 41-17 sebagai berikut:

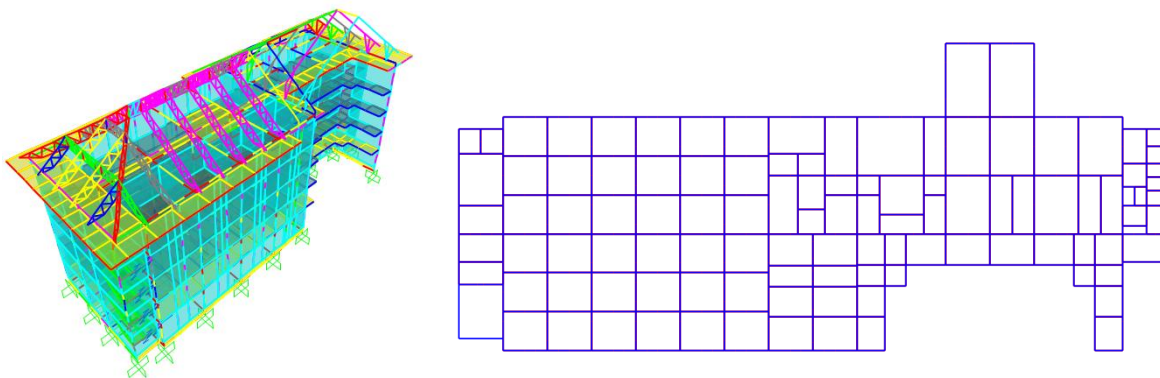
- Komponen primer dan sekunder aksi *deformation-controlled* harus memiliki kapasitas deformasi yang lebih besar dari perhitungan deformasi yang terjadi pada *displacement target*.
- Kriteria penerimaan untuk aksi *force-controlled* yang digunakan pada prosedur nonlinier menurut ASCE 41-17 harus memenuhi persamaan (4) berikut:

$$\gamma\chi (Q_{UF} - Q_G) + Q_G < Q_{CL} \quad (4)$$

dengan  $Q_{UF}$  = aksi *forced-controlled* disebabkan oleh beban gravitasi dan gaya gempa,  $Q_{CL}$  = kapasitas batas bawah (*lower-bound*) aksi *forced-controlled*,  $\gamma$  = faktor beban dan  $\chi$  = diambil 1 untuk CP atau 1,3 untuk LS dan IO.

### 3. PEMODELAN STRUKTUR

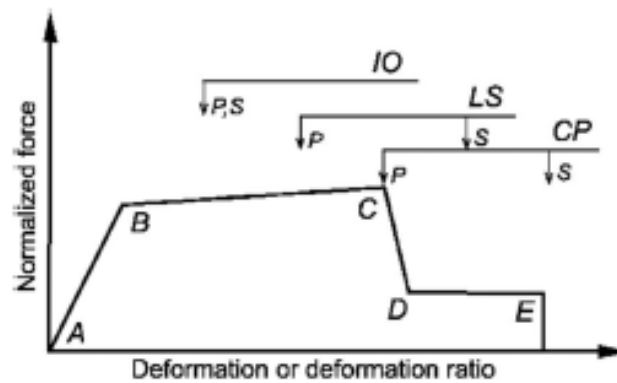
Pemodelan struktur Gedung RSGM dilakukan dengan software SAP2000 sesuai dengan *asbuilt drawing* dan data sekunder lainnya. Penampang struktur pada balok, kolom dan *borepile* dilakukan menggunakan *frame element* sedangkan komponen tangga, bordes, plat lantai dan *pile cap* dimodelkan sebagai *shell element*. Kekakuan efektif pada penampang dilakukan modifikasi sesuai dengan ketentuan ASCE 41-17 dan komponen dinding dimodelkan sebagai beban (tanpa dinding), karena pada saat struktur bangunan menerima eksitasi getaran besar (gaya lateral gempa) dinding bata akan retak dan tidak memiliki kekakuan struktur. Pemodelan pada program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan gedung XYZ di Sleman

#### Pendefinisian sendi plastis

Evaluasi nonlinier pada kapasitas komponen struktur akan diteruskan melewati batas elastisnya (kondisi plastis) sampai pada titik sesaat sebelum komponen struktur tidak dapat menerima gaya yang terjadi. Sehingga perlu mendefinisikan properti plastifikasi masing-masing komponen struktur penahan gaya lateral.



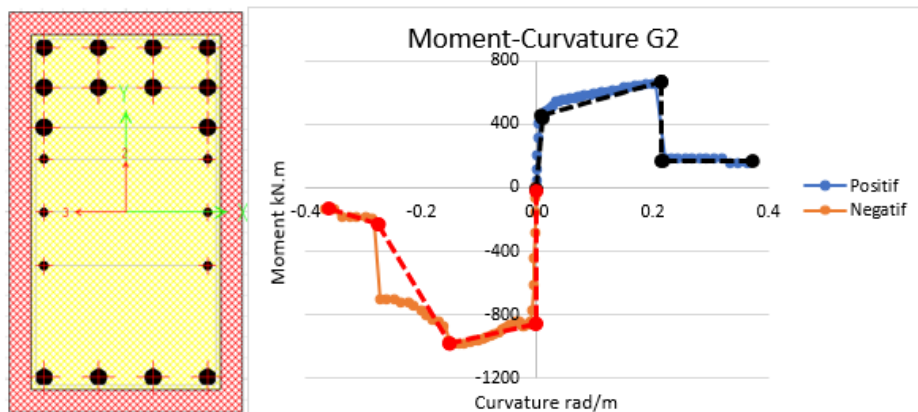
Gambar 5 Kurva gaya-deformasi terhadap kinerja komponen struktur ASCE 41-17

1. Sendi Plastis Kolom

Definisi sendi plastis kolom pada lentur dipilih menggunakan *fiber* P-M2-M3 sesuai penampang *asbuilt drawing* untuk mewakili aksi komponen aksial dan lentur arah X maupun arah Y. sedangkan sendi plastis geser dipilih menggunakan *Shear* V2 untuk arah X dan *Shear* V3 untuk arah Y.

2. Sendi Plastis Balok

Definisi sendi plastis balok pada lentur dipilih menggunakan M3 yang terletak pada 0,5 tinggi balok. Kurva momen-kurvatur balok diambil dari kurva hasil analisis dari *section designer* SAP2000 yang disimplifikasi menyesuaikan kolom momen-kurvatur yang tersedia pada program SAP2000. sedangkan sendi plastis geser menggunakan *Shear* V2.



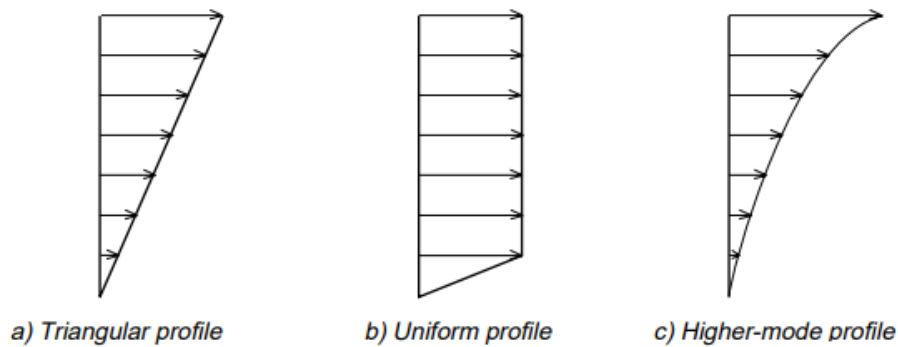
Gambar 6. Simplifikasi kurva momen-kurvatur balok

Tabel 2. Penjelasan Notasi Gambar 5.

Notasi	Warna	Penjelasan
A		Titik awal
B	●	Batas linier komponen struktur yang diikuti pelelehan pertama
IO	●	Level kinerja <i>Immediate Occupancy</i>
LS	●	Level kinerja <i>Life Safety</i>
CP	●	Level kinerja <i>Collapse Prevention</i>
C	●	Batas sesaat sebelum komponen struktur mengalami kemiringan positif ( <i>Collapse</i> )
D	●	Kekuatan sisa
E	●	Kegagalan total

**Pola beban statik nonlinier**

Pada prosedur statik nonlinier atau *pushover analysis*, input beban statik nonlinier tidak dilakukan kombinasi pembebanan akan tetapi beban gravitasi yang telah diaplikasikan ke model gedung dilanjutkan ke pembebanan statik nonlinier dengan mempertimbangkan efek *geometric nonlinearity* P-delta secara bertahap sampai pada *target displacement* tertentu yang dianalisis secara otomatis oleh program SAP2000. FEMA 274 merekomendasikan 3 pola pembebanan statik yang dapat dipilih pada saat melakukan analisis statik nonlinier yang dapat dilihat pada Gambar 7. Gaya lateral statik nonlinier dalam penelitian ini mengacu pada gaya pseudo seismik yang dihitung berdasarkan gaya berat efektif bangunan dan didistribusikan ke masing-masing kolom secara merata.



Gambar 6. Pola distribusi beban statik nonlinier FEMA 274

**4. HASIL ANALISIS**

**Perbandingan Frekuensi Alami Hasil Pengujian Lapangan dengan Pemodelan**

Proses validasi pada pemodelan dilakukan dengan membandingkan frekuensi alami struktur bangunan hasil pengujian mikrotremor di lapangan yang dilakukan oleh (Halisa, 2010) dengan frekuensi alami struktur hasil pemodelan. Pada proses validasi dinding dimodelkan sebagai *shell element* terlebih dahulu, karena pada saat pengujian mikrotremor dinding-dinding pada bangunan gedung akan memberikan kekakuan pada struktur yang dapat meningkatkan frekuensi alami bangunan yang tercatat. Model dipilih dari tiga asumsi perletakan pondasi dan mengasumsikan penampang *frame element* tidak retak. Perbandingan frekuensi alami hasil pemodelan ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan frekuensi model gedung dengan hasil pengukuran

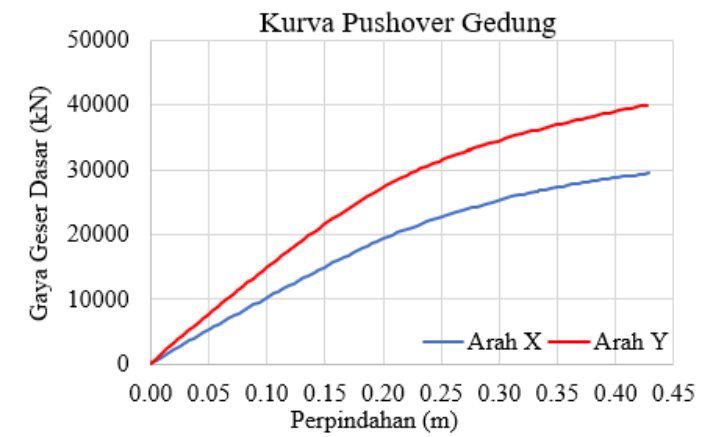
Model	Kode	Arah Y (U-S)		Arah X (B-T)	
		Frekuensi (Hz)	Selisih (%)	Frekuensi (Hz)	Selisih (%)
Hasil Uji	UJI-P	2.637	-	2.783	-
<i>Spring</i>	SP-P	2.541	3.6%	2.750	1.2%
Jepit	JP-P	2.586	1.9%	2.804	0.8%
Sendi	SD-P	2.471	6.3%	2.755	1.0%

Hasil pemodelan didapatkan model gedung yang paling mendekati frekuensi alami pengukuran adalah model JP-P dengan frekuensi alami arah Y sebesar 2,586 Hz selisih 1,9% dari hasil pengukuran dan arah X 2,804 Hz selisih 0,8% dari hasil pengukuran. Berdasarkan hasil data Tabel 3, pemodelan gedung yang dilakukan pada penelitian ini telah mendekati kondisi gedung eksisting.

**Kurva *pushover***

Kurva *pushover* merupakan kurva hubungan gaya geser dasar (V) dengan perpindahan pada suatu titik tinjau ( $\delta$ ), analisis dilakukan pada masing-masing arah orthogonal bangunan di Gedung XYZ dengan parameter *displacement control* sebagai berikut:

- Magnitude* = 428 mm (2%h<sub>n</sub>), telah memenuhi 150% *displacement target*
- Joint* = Nodal teratas ujung struktur beton

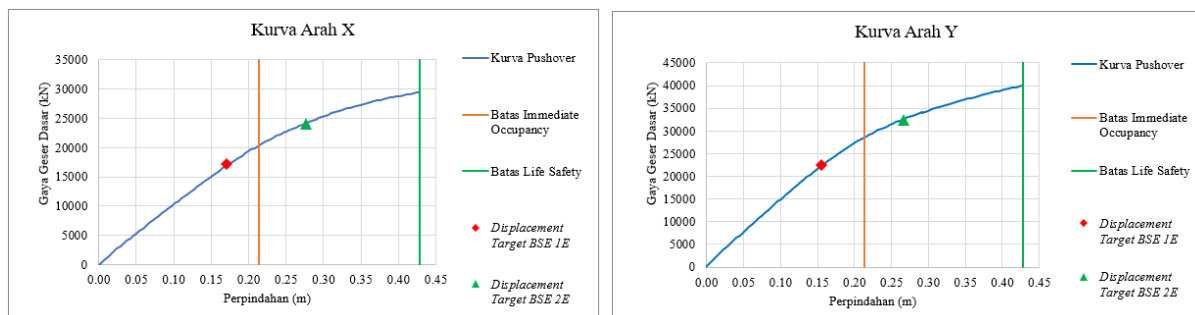


Gambar 7. Kurva *pushover* pada Gedung XYZ

Secara global dilihat dari grafik diatas struktur masih mampu menahan gaya gempa evaluasi dan masih memiliki kekuatan menahan gaya gempa sampai *displacement target* 428 mm ditunjukkan dari kedua grafik masih belum menunjukkan kecenderungan untuk turun.

### Displacement target

Target perpindahan atau *displacement target* merupakan sasaran perpindahan nodal kontrol yang harus dicapai struktur saat menerima *demand* respons spektral BSE-1E maupun BSE-2E. Target perpindahan dihitung menggunakan persamaan (3). Hasil perhitungan target perpindahan kemudian *plot* ke dalam kurva *pushover* hasil analisis statik nonlinier untuk mendapatkan gambaran kondisi struktur secara global pada saat tercapai target perpindahan sesuai dengan *seismic hazard* yang ditinjau. Grafik kurva *pushover* dengan *plot* target perpindahan masing-masing *seismic hazard* dapat dilihat pada Gambar 8. Kedua kurva *pushover* pada arah X dan arah Y Gedung XYZ masih belum menunjukkan kecenderungan untuk turun sehingga secara global struktur masih mampu menahan gaya lateral sampai target perpindahan yang ditentukan baik dengan *seismic hazard* BSE-1E target kinerja *Immediate Occupancy* maupun *seismic hazard* BSE-2E target kinerja *Life Safety*.



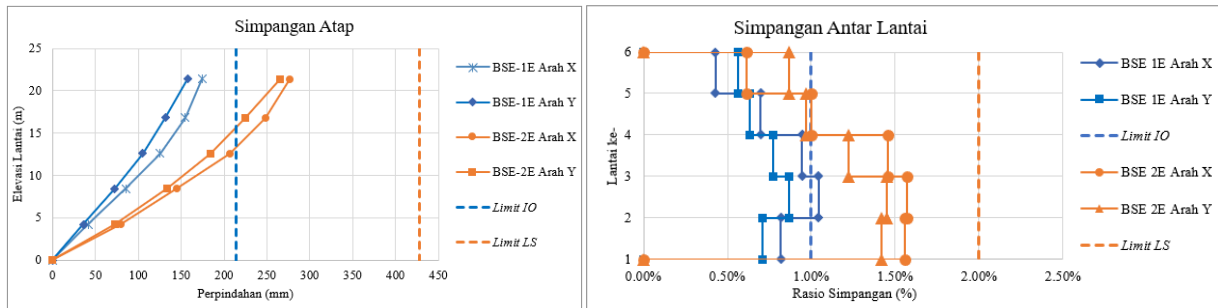
Gambar 8. Plot target perpindahan pada kurva *pushover* Gedung XYZ

### Simpangan antar lantai

Pemeriksaan simpangan (*drift*) merupakan salah satu metode untuk menentukan level kinerja struktur secara keseluruhan sesuai dengan batasan simpangan yang ditetapkan. ASCE 41-17 secara eksplisit tidak mensyaratkan pemeriksaan *drift ratio*. Namun untuk menunjang penilaian menggunakan metode target perpindahan, dilakukan pemeriksaan *drift ratio* saat target perpindahan sesuai ASCE 41-17 menggunakan batasan perpindahan yang diatur dalam FEMA 356. Batasan *drift* untuk level kinerja struktur *Immediate Occupancy* maksimal sebesar 1% dan *Life Safety* maksimal sebesar 2%.

Hasil pemeriksaan pada grafik simpangan atap dan simpangan antar lantai pada Gambar 9., menunjukkan bahwa Gedung XYZ ditinjau secara global memenuhi batasan level kinerja *Immediate Occupancy* untuk *seismic hazard* BSE-

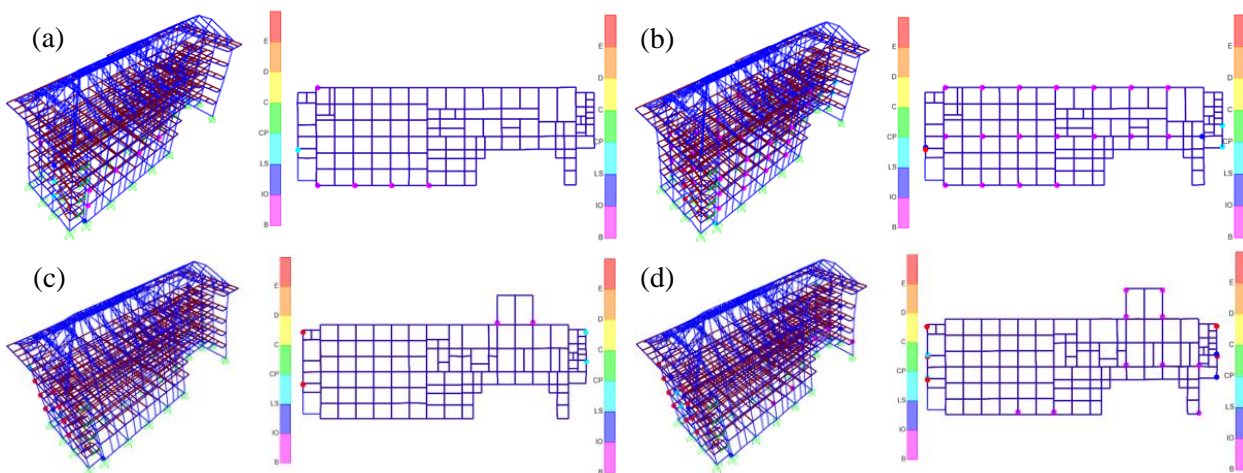
1E sebesar 1% tinggi lantai dan level kinerja *Life Safety* untuk *seismic hazard* BSE-2E sebesar 2% tinggi lantai kecuali lantai 3 gedung utara pada arah X dengan *seismic hazard* BSE-1E (1,03%).



Gambar 9. Simpangan atap dan simpangan antar lantai Gedung XYZ

### Persebaran sendi plastis

Pembentukan sendi plastis (plastifikasi) merupakan indikator kemampuan elemen struktur dalam menahan gaya dalam akibat beban yang diberikan pada struktur. Berdasarkan konsep *strong column weak beam*, sendi plastis diharapkan tidak terbentuk pada elemen kolom sebelum seluruh balok mengalami plastifikasi. Pengamatan pembentukan sendi plastis pada Gedung XYZ disajikan pada Gambar 10 dan dijelaskan pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 10 Persebaran sendi plastis Gedung XYZ (a) BSE-1E arah X; (b) BSE-2E arah X; (c) BSE-1E arah X; (d) BSE-2E arah Y

Tabel 4 Detail persebaran sendi plastis Gedung XYZ BSE-1E

Tinjauan	Tahap	Perpindahan (m)	Base Force (kN)	B ke IO	IO ke LS	LS ke CP	CP ke C	CP ke D	> E
Arah X	41	0.174	17222	7	2	2	0	0	0
Arah Y	36	0.157	22539	6	4	5	0	0	8

Tabel 5 Detail persebaran sendi plastis Gedung XYZ BSE-2E

Tinjauan	Tahap	Perpindahan (m)	Base Force (kN)	B ke IO	IO ke LS	LS ke CP	CP ke C	CP ke D	> E
Arah X	63	0.276	24120	49	4	12	0	0	3
Arah Y	58	0.265	32520	28	25	7	0	0	14

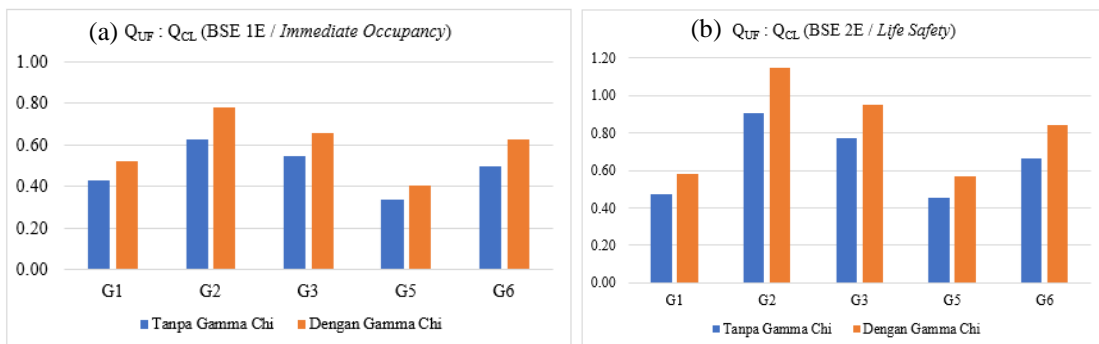
Pada Tabel 4 terdapat 8 balok anak yang mengalami kegagalan (>E) pada tinjauan arah Y BSE-1E. Ketika ditinjau lebih detail balok-balok tersebut masih memiliki kinerja *Immediate Occupancy* untuk aksi lentur sedangkan untuk



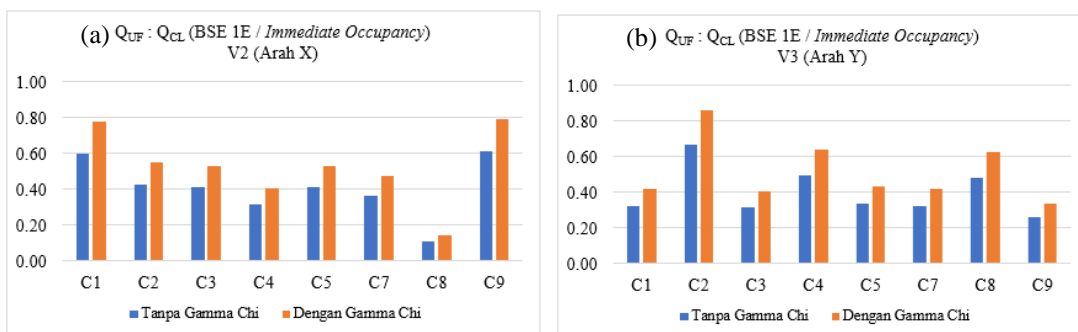
aksi geser sudah mengalami kegagalan. Sedangkan untuk Tabel 5 terdapat 3 balok anak yang mengalami kegagalan (>E) pada tinjauan BSE-2E arah X dan 14 balok anak pada arah Y. Namun jika ditinjau pada balok girder sebagai sistem penahan gaya gempa, balok girder masih memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* untuk aksi lentur dan *Life Safety* untuk aksi geser. Persebaran sendi plastis juga di amati pada kolom-kolom kritis. Hasil analisis SAP2000, kolom pada gedung XYZ dengan *seismic hazard* BSE-1E maupun BSE-2E menunjukkan belum terbentuknya sendi plastis dan tulangan-tulangan pada kolom masih mampu menahan momen yang terjadi.

**Pemeriksaan aksi *forced-controlled***

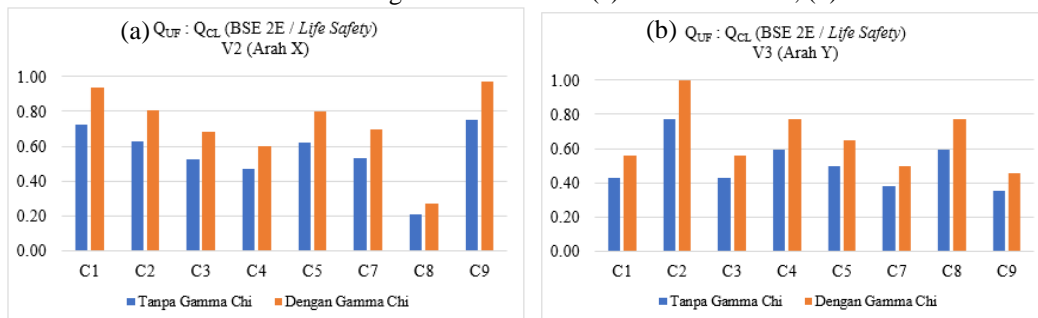
ASCE 41-17 mengatur untuk komponen *force-controlled* yang tidak dimasukkan dalam pemodelan dengan karakteristik *force-deformation* nonlinier harus memenuhi persamaan (4). Nilai faktor beban  $\gamma$  (gamma) diambil 1 dan nilai  $\chi$  (chi) diambil 1,3 sehingga  $\gamma\chi$  adalah 1,3 untuk *seismic hazard* BSE-1E dan BSE-2E. Hasil evaluasi pada aksi geser balok dan aksi geser kolom dapat dilihat pada Gambar 11 sampai Gambar 13.



Gambar 11 Hasil evaluasi DCR geser tier 3 balok (a) BSE-1E (b) BSE-2E



Gambar 12 Hasil evaluasi DCR geser tier 3 kolom (a) BSE-1E arah X; (b) BSE-1E arah Y



Gambar 13 Hasil evaluasi DCR geser tier 3 kolom (a) BSE-2E arah X; (b) BSE-2E arah Y

Berdasarkan Gambar 11, Balok G2 yang tidak memenuhi persyaratan ketika dievaluasi menggunakan metode statik nonlinier dengan koefisien  $\gamma\chi$  (DCR 1,14) namun jika tidak dikalikan koefisien  $\gamma\chi$  balok tersebut masih memenuhi syarat dengan (DCR 0,91). Kapasitas kolom dalam menerima *demand* secara keseluruhan memenuhi syarat dengan

rasio kurang dari 1. Setiap jenis kolom memenuhi syarat baik ketika *demand* tidak dikalikan dengan koefisien  $\gamma\chi$  maupun setelah dikalikan dengan koefisien  $\gamma\chi$ .

## 5. KESIMPULAN

1. Gedung XYZ mampu menahan gaya lateral sampai pada *displacement target* yang ditentukan arah X maupun arah Y menggunakan seismic hazard BSE-1E dan BSE-2E.
2. Kecuali lantai 3 pada arah X (1,03%), simpangan antar lantai memenuhi syarat sebesar 1% untuk BSE-1E target *Immediate Occupancy* dan 2% untuk BSE-2E target *Life Safety*.
3. Distribusi sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu, memenuhi prinsip *strong column weak beam*.
4. Ditinjau secara global, struktur bangunan memenuhi target kinerja *Immediate Occupancy* untuk seismic hazard BSE-1E dan target kinerja *Life Safety* untuk seismic hazard BSE-2E.
5. Terdapat balok girder tipe G2 yang tidak memenuhi persyaratan *forced-controlled* dengan DCR 1,14 (terlampau 14% dari kapasitas balok).

## DAFTAR PUSTAKA

- Aninthaneni, P.K., Dhakal, R.P. 2016. *Prediction of Fundamental Period of Regular Frame Buildings*. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 49, No. 2.
- Aritonang, T. S. M. 2010. *Evaluasi Kinerja Gedung Instalasi Rawat Darurat RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta terhadap Pengaruh Gempa*. Tesis. Yogyakarta: UGM.
- Dewobroto, W. 2005. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism.
- Halisa, 2010. *Karakteristik Dinamik Gedung Rumah Sakit Gigi dan Mulut Prof. Soedomo Yogyakarta dengan Menggunakan Seismometer*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Handayani, N. K., Satyarno, I., Priyosulistyo, H. 2018. *Aplikasi Analisis Pushover pada Gedung Eksisting Tujuh Lantai Aplikasi Analisis Pushover pada Gedung Eksisting Tujuh Lantai*. Civil Engineering and Environmental Symposium.
- Harris, J., Speicher, M., 2018. *Assessment of Performance-Based Seismic Design Methods in ASCE 41 for New Steel Buildings: Special Moment Frames*. Earthquake Spectra, Volume 34, No. 3.
- Masbudi, Purwanto, E., Supriyadi, A., 2015. *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Analisis Pusover (Studi Kasus: Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta)*. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil.
- Setiawan, A. F., & Febriansyah, R. 2020. *Laporan Analisis Keandalan Struktur Gedung Lama Rumah Sakit Gigi dan Mulut Prof. Soedomo UGM*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Suryanto, S. E., 2018. *Performance Based Seismic Design: Pendekatan Lebih Terukur dan Ekonomis untuk Perencanaan Bangunan Tingkat Tinggi Beton Bertulang*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Utomo, J. 2019. *Evaluasi Kinerja Seismik Rangka Beton Pemikul Momen Khusus dengan PERFORM-3D*. Media Komunikasi Teknik Sipil.
- Wijaya, U. 2020. *Assessment and Evaluation Procedure of Existing Industrial Building Structure Based on ASCE 41-17*. Journal of Physics: Conference Series