

## EVALUASI KINERJA DENGAN METODE PUSHOVER PADA STRUKTUR KOMPOSIT 10 LANTAI DENGAN VARIASI BRACING

Yenny Untari Liucius<sup>1\*</sup>, Rangga Winata<sup>1</sup>, Sunarjo Leman<sup>1</sup> dan Arif Sandjaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanegara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
\*yenny@ft.untar.ac.id

Masuk: 02-07-2025, revisi: 30-08-2025, diterima untuk diterbitkan: 25-09-2025

### ABSTRACT

Indonesia, located in a seismically active region, faces significant challenges in earthquake-resistant structural design. One widely used method to evaluate structural performance under seismic loads is nonlinear pushover analysis. In this study, pushover analysis was employed to assess performance levels and determine ductility parameters of a 10-story composite structure with various bracing configurations. Three structural models were analyzed with different types of bracing added in the Y direction. Model 1 is a composite structure with SRC columns and steel beams; Model 2 uses inverted V bracing; and Model 3 incorporates multi story X bracing. Structural performance was evaluated using two approaches: the Capacity Spectrum Method (CSM) and the Displacement Coefficient Method (DCM). Furthermore, for buildings with composite columns, steel beams, and steel bracing, the response modification factor ( $R$ ), overstrength factor ( $\Omega_0$ ), and displacement amplification factor ( $C_d$ ) are not yet specified in SNI 1726-2019. The structural models were developed in three dimensions using MIDAS GEN software. The results show that Model 1 achieves IO-LS performance levels in both X and Y directions, while Models 2 and 3 exceed CP in the Y direction. The  $R$  values of all models are relatively similar. However, Models 2 and 3 show lower  $\Omega_0$  values compared to Model 1 in the Y direction.  $C_d$  of Model 2 is lower than Model 1, while  $C_d$  of Model 3 is higher. Based on the findings, Model 1 is recommended as the most optimal structural option among the three models.

Keywords: Composite Structure; Bracing; Pushover; Performance Evaluation

### ABSTRAK

Indonesia, yang terletak di kawasan seismik aktif menghadapi tantangan besar dalam perencanaan struktur tahan gempa. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa adalah analisis non-linier *pushover*. Dalam penelitian ini, analisis *pushover* digunakan untuk menilai tingkat kinerja dan mencari nilai parameter daktilitas struktur komposit dengan tambahan variasi *bracing* pada struktur gedung 10 lantai. Tiga model struktur dianalisis dengan pendekatan penambahan bracing pada struktur arah Y dengan tipe yang berbeda. Model 1 berupa struktur komposit dengan kolom SRC dan balok baja, model 2 berupa struktur komposit bracing *inverted V*, dan model 3 berupa struktur komposit dengan bracing *multistory X*. Evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan analisis *pushover* menggunakan dua pendekatan, yaitu *Capacity Spectrum Method* (CSM) dan *Displacement Coefficient Method* (DCM). Selain itu, untuk bangunan dengan struktur kolom komposit dan balok baja dengan bracing baja, nilai faktor modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) belum diatur dalam SNI 1726-2019. Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan *software* MIDAS GEN. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Model 1 memiliki level kinerja IO-LS pada arah X dan Y, sedangkan Model 2 dan 3 menunjukkan kinerja IO-LS pada arah X dan melebihi CP pada arah Y. Nilai faktor modifikasi respons ( $R$ ) pada ketiga model relatif serupa. Selain itu, nilai overstrength factor ( $\Omega_0$ ) pada Model 2 dan 3 lebih rendah dibandingkan Model 1 pada struktur arah Y, sedangkan nilai displacement amplification factor ( $C_d$ ) arah Y struktur pada Model 2 lebih rendah dari Model 1, sementara pada Model 3, nilai  $C_d$  justru lebih tinggi dibandingkan Model 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, model 1 disarankan sebagai opsi struktur terbaik diantara ketiga model yang ada.

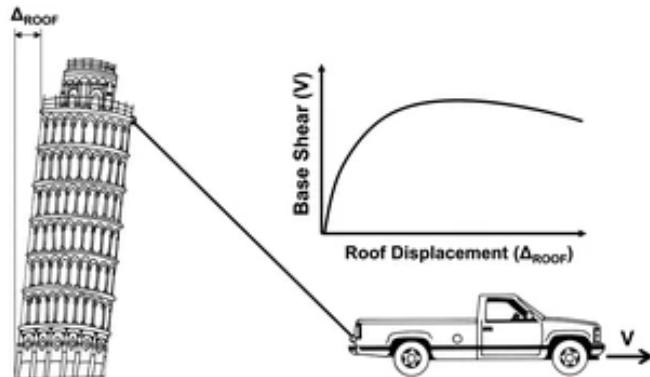
Kata kunci: Struktur komposit; Bracing; Pushover; Evaluasi Kinerja

### 1. PENDAHULUAN

#### *Pushover* dan parameter daktilitas

Analisis *pushover* merupakan metode analisis statik nonliner yang disederhanakan untuk memperkirakan respons deformasi struktur akibat beban gempa (Tubuh et al., 2023). Prinsip utama dari analisis *pushover* adalah dengan memberikan pola beban lateral yang meningkat secara bertahap pada model struktur yang telah terlebih dahulu dikenai

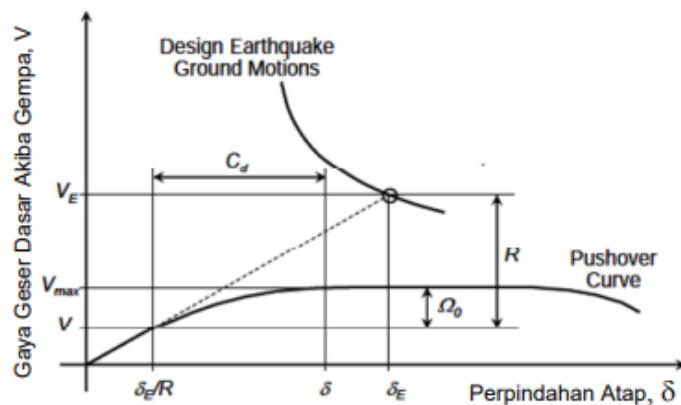
beban gravitasi. Proses ini bertujuan untuk mensimulasikan perilaku inelastik dari struktur secara progresif (Najam, 2017), seperti yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Konsep dasar analisis *pushover* (Najam, 2017)

Tujuan utama dari analisis pushover adalah untuk memperkirakan parameter daktilitas struktur yang berperan dalam menentukan gaya geser dasar, gaya desain elemen, serta simpangan antar tingkat desain, yaitu faktor modifikasi struktur ( $R$ ), faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) (Sungkana et al., 2024). Penerapan yang tepat terhadap parameter-parameter ini dalam perancangan seismik akan menghasilkan struktur dengan tingkat keamanan yang sebanding terhadap potensi keruntuhan.

Agar dapat menghitung parameter daktilitas struktur maka diperlukan kurva  $V-\delta$  seperti pada Gambar 2, yang dapat diperoleh dari analisis *pushover*. Dengan adanya kurva  $V-\delta$  seperti pada Gambar 2, menggambarkan perilaku struktur mulai dari fase elastik hingga memasuki kondisi inelastik menjelang keruntuhan. Selama struktur masih berada dalam tahap elastik, kurva  $V-\delta$  akan berbentuk garis lurus diagonal. Dalam kondisi ini, penentuan parameter daktilitas belum dapat dilakukan secara akurat, karena struktur belum mengalami deformasi plastis yang diperlukan untuk membentuk kurva nonlinier atau parabolik (Prabowo & Lase, 2016).



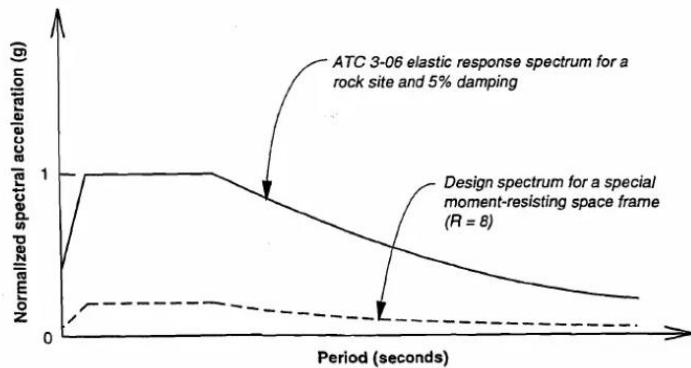
Gambar 2. Definisi faktor daktilitas struktur dari kurva  $V-\delta$

### Faktor modifikasi respons ( $R$ )

Faktor modifikasi respons ( $R$ ) adalah parameter yang digunakan untuk mereduksi gaya seismik dalam desain struktur tahan gempa, dengan mempertimbangkan kemampuan struktur dalam menyerap energi gempa melalui deformasi inelastik.

Konsep nilai  $R$  dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa sistem struktur rangka yang dirancang secara baik mampu mengalami deformasi inelastik dalam jumlah besar tanpa mengalami keruntuhan, serta memiliki kekuatan lateral yang melebihi kekuatan desain awalnya. Nilai  $R$  merepresentasikan rasio antara gaya gempa yang akan timbul apabila struktur berperilaku sepenuhnya elastis terhadap gaya desain pada tingkat kekuatan yang diasumsikan setara dengan

momen terjadinya leleh signifikan (Applied Technology Council, 1995). Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, penerapan nilai R memungkinkan penurunan besarnya gaya desain pada respons spektrum.



Gambar 3. Penggunaan nilai R untuk mengurangi level gaya desain (Applied Technology Council, 1995)

Besarnya nilai faktor modifikasi respons (R) dapat dihitung dari Persamaan 1.

$$R = \frac{V_E}{V} \quad (1)$$

dengan  $V_E$  = gaya gempa saat elastis penuh dan  $V$  = gaya geser desain

### Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ )

Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) merupakan nilai yang diperoleh dari rata-rata tertinggi faktor kuat lebih pada setiap kelompok kinerja struktur. Parameter ini menggambarkan sejauh mana struktur mampu tetap bertahan dalam kondisi getaran kuat—semakin tinggi nilai  $\Omega_0$ , semakin besar kapasitas struktur dalam menahan beban gempa. Dengan kata lain, diperlukan gaya gempa yang lebih besar agar seluruh elemen struktur mengalami peleahan secara menyeluruh.

Dalam proses perancangan, nilai  $\Omega_0$  dimanfaatkan untuk memperbesar gaya-gaya yang ditransfer dari struktur atas ke struktur bawah, seperti pada fondasi atau bagian basement. Hal ini bertujuan agar struktur bagian bawah tidak mengalami keruntuhan terlebih dahulu dibandingkan dengan bagian atas, sehingga sistem struktur secara keseluruhan dapat bekerja secara stabil dan aman ketika terjadi gempa.

Besarnya nilai faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) dapat dihitung dari Persamaan 2.

$$\Omega_0 = \frac{V_{maks}}{V} \quad (2)$$

dengan  $V_{maks}$  = gaya geser maksimum dan  $V$  = gaya geser desain

### Faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ )

Faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) merepresentasikan kemampuan struktur untuk mengalami deformasi akibat beban gempa (Tavio & Wijaya, 2018). Dalam desain struktur tahan gempa,  $C_d$  digunakan untuk memperkirakan simpangan maksimum yang mungkin terjadi, terutama pada bagian atap, selama berlangsungnya gempa besar. Nilai  $C_d$  ini digunakan sebagai pengali terhadap simpangan hasil analisis elastis berdasarkan gaya gempa desain, sehingga dapat mencerminkan respons inelastik struktur secara lebih akurat (Marcella & Christianto, 2022).

Besarnya nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) dapat dihitung dari persamaan 3.

$$C_d = \frac{\delta}{\delta_E / R} \quad (3)$$

dengan  $\delta$  = perpindahan atap saat struktur mulai mencapai kondisi leleh dan  $\delta_E / R$  = perpindahan atap yang diperoleh dari analisis elastis ketika struktur dikenai beban rencana sebesar  $V$ .

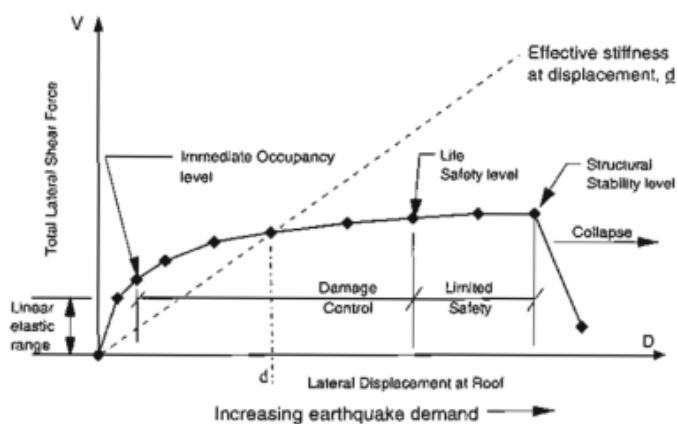
Besarnya nilai  $C_d$  dapat diperoleh melalui kurva hubungan antara percepatan spektral ( $S_a$ ) dan perpindahan spektral ( $S_d$ ), dan dalam kondisi tertentu, nilainya dapat setara dengan faktor reduksi gempa (R). Berdasarkan teori equal displacement, kesetaraan ini dapat terjadi pada struktur yang memiliki redaman sebesar 5%, yang merupakan nilai standar dalam menentukan respons spektral, baik dalam bentuk percepatan maupun perpindahan (Sutanto & Christianto, 2022).

## Tingkat kinerja struktur

Untuk memastikan bangunan memiliki kinerja seismik yang memadai, khususnya di wilayah rawan gempa, perencanaan struktur harus mencakup sistem penahan gaya lateral yang efektif. Sistem ini berfungsi untuk mengendalikan perpindahan lateral akibat gempa agar tetap berada dalam batas kerusakan yang dapat diterima, serta mencapai target kinerja struktural yang telah ditentukan. Beberapa faktor utama yang memengaruhi efektivitas sistem penahan gaya lateral mencakup massa bangunan, kekakuan, redaman, konfigurasi geometri struktur, kapasitas deformasi elemen, kekuatan material, serta karakteristik gempa dan tanah di lokasi bangunan (Marcella & Christianto, 2022).

Pendekatan desain struktur tahan gempa saat ini telah mengalami perkembangan dengan diterapkannya konsep performance based seismic design (PBSD) (Tubuh et al., 2022). Metode ini memanfaatkan analisis non-linier berbantuan perangkat lunak untuk mengevaluasi respons inelastik struktur pada berbagai tingkat intensitas gempa, sehingga memungkinkan identifikasi tingkat kinerja struktur pada kondisi ekstrem.

Mengacu pada ATC-40, kinerja struktur dibagi ke dalam beberapa kategori, yang digambarkan melalui kurva hubungan antara gaya lateral dan perpindahan struktur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva kapasitas pada berbagai tingkatan kinerja (California Seismic Safety Commission, 1996)

Pesatnya perkembangan teknologi konstruksi menuntut peningkatan kinerja struktur bangunan, terutama dalam menghadapi beban gempa. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam desain struktur tahan gempa adalah penerapan sistem komposit, yaitu kombinasi antara material baja dan beton yang bekerja secara sinergis dalam menahan beban. Dalam perencanaan struktur komposit yang tahan terhadap gempa, penggunaan sistem *bracing* dari baja menjadi pilihan umum untuk meningkatkan kapasitas dan kestabilan lateral bangunan. Sistem *bracing* ini berfungsi untuk mengurangi deformasi horizontal akibat gaya gempa, selain juga memiliki keunggulan berupa kemudahan dalam pelaksanaan serta efisiensi biaya. Pada penelitian ini, akan diuji dua konfigurasi *bracing* baja, yaitu *inverted V bracing* dan *multistory X bracing*, yang masing-masing memiliki karakteristik perilaku struktur yang berbeda.

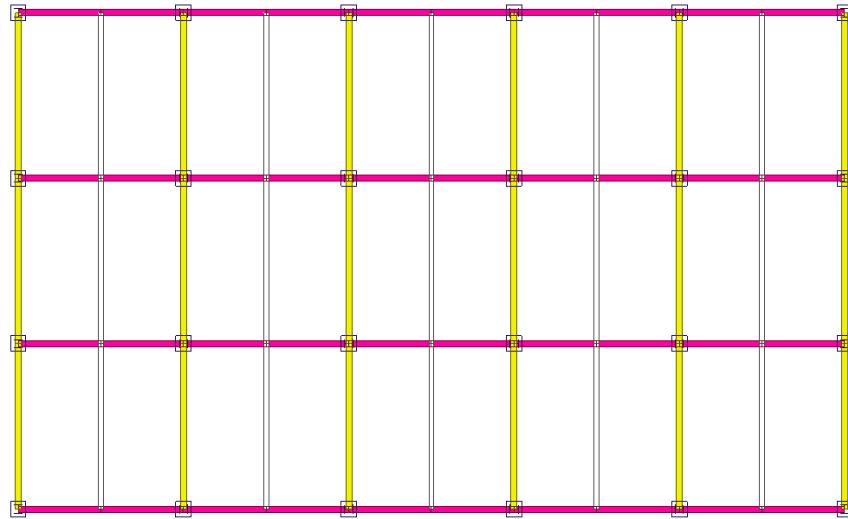
Namun demikian, untuk struktur bangunan yang menggunakan kolom komposit dan balok baja dengan sistem *bracing*, parameter daktilitas seperti faktor modifikasi struktur ( $R$ ), faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) belum dicantumkan dalam SNI 1727-2019. Oleh karena itu, untuk memperoleh nilai parameter-parameter tersebut, diperlukan analisis *pushover*—suatu metode analisis statik nonlinier yang dapat menggambarkan perilaku plastis struktur secara bertahap hingga mencapai kondisi runtuh. Melalui metode ini, akan dihasilkan kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya dan perpindahan struktur, serta memungkinkan identifikasi elemen-elemen struktur yang mengalami kondisi kritis.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis struktur gedung secara 3 dimensi dengan bantuan perangkat lunak MIDAS GEN. Evaluasi struktur terhadap beban gempa dilakukan melalui analisis respon spektrum, yang kemudian dilanjutkan dengan analisis *pushover* untuk menilai tingkat kinerja struktur serta menghitung faktor daktilitas berdasarkan hasil perancangan terhadap beban gempa tersebut. Seluruh perancangan mengikuti prinsip pendekatan elemen struktur sesuai ketentuan-ketentuan yang berlaku.

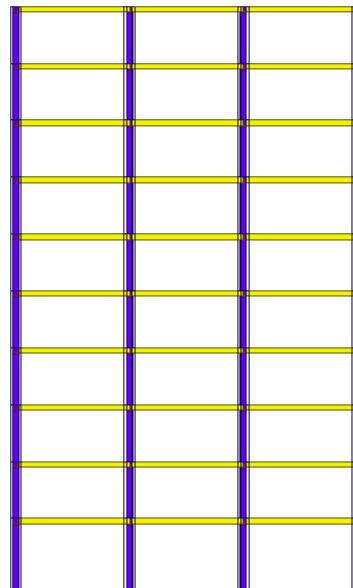
Data teknis model struktur bangunan yang menjadi obyek penelitian, yaitu:

1. Bangunan berukuran 40x24 m dengan jarak antar kolom 8 seperti pada Gambar 5.



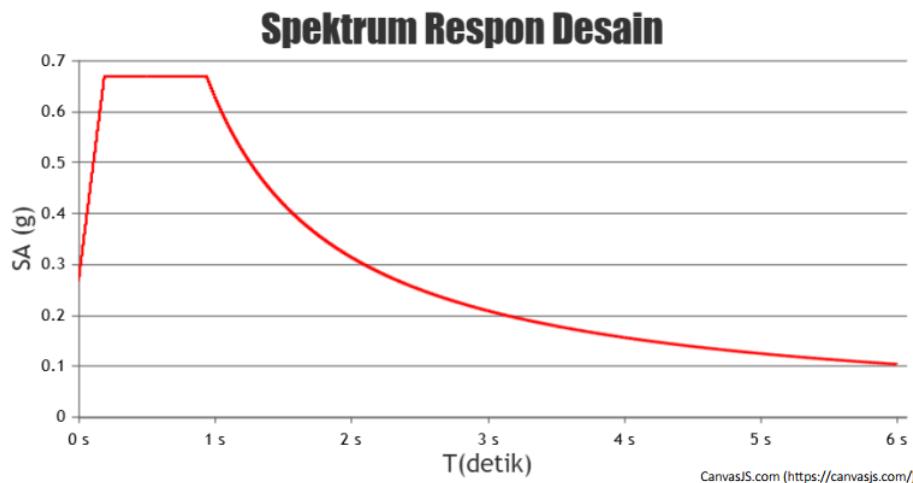
Gambar 5. Denah tampak atas bangunan

2. Bangunan 10 lantai setinggi 41 m dengan ketinggian lantai dasar 5 m dan ketinggian lantai tipikal 4 m seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Denah tampak samping bangunan

3. Elemen struktural berupa balok baja dan kolom komposit dengan tipe SRC (*Steel Reinforced Concrete*)
4. Penelitian dilakukan pada 3 pemodelan struktur, dimana model 1 berupa struktur komposit tanpa bracing, model 2 berupa struktur komposit dengan *bracing inverted V*, dan model 3 berupa struktur komposit dengan *bracing multistory X*.
5. Mutu baja BJ 37 dengan spesifikasi tegangan leleh ( $f_y$ ) 240 MPa dan tegangan tarik putus ( $f_u$ ) 370 MPa
6. Mutu beton K-500 dengan spesifikasi kuat tekan beton ( $f_c'$ ) 40 MPa.
7. Beban mati di luar berat sendiri 4 kN/m<sup>2</sup> dan beban hidup 2.4 kN/m<sup>2</sup>.
8. Respon spektrum gempa dengan nilai  $S_{Ds}$  0.6053g dan  $S_{D1}$  0.6297g seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik respon spektrum

9. Dimensi balok, kolom, dan *bracing* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi balok, kolom, dan *bracing*

Dimensi (mm)	
Balok Induk Arah X	WF 440x300x11x18
Balok Induk Arah Y	WF 390x300x11x16
Balok Anak	WF 340x250x9x14
Kolom	H 408x400x21x21 (750X750)
<i>Bracing</i>	Box 177x177x12x12

Setelah melalui proses desain, struktur dilanjutkan ke tahap analisis *pushover*. Pada analisis ini, struktur akan diberi tambahan pemodel sendi plastis (*plastic hinges*) pada bagian balok, kolom, dan *bracing*. Setelah itu, akan dilakukan evaluasi kinerja struktur menggunakan 2 metode, yaitu FEMA 440 dan ASCE 41-17, dengan mempertimbangkan intensitas gempa sebagai parameter penilaian. Kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis *pushover* kemudian dianalisis menggunakan metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) dan *Displacement Coefficient Method* (DCM) untuk mengetahui perilaku daktilitas dari masing-masing model struktur.

Mengacu pada ASCE 41-17, evaluasi kinerja dilakukan berdasarkan dua tingkat gempa, yaitu **BSE-1N** dan **BSE-2N**. BSE-1N mewakili gempa dengan periode ulang 500 tahun, bertujuan untuk menjamin keselamatan penghuni bangunan, sedangkan BSE-2N adalah gempa dengan periode ulang 2500 tahun, yang digunakan untuk memastikan bangunan tidak mengalami keruntuhan total.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Evaluasi kinerja struktur

Hasil evaluasi kinerja struktur disajikan pada Tabel 2, 3, dan 4, yang memperlihatkan nilai gaya geser dasar (V) dan perpindahan atap pada titik kontrol ( $\delta$ ). Titik kontrol ditentukan pada lokasi di lantai atap yang diperkirakan mengalami perpindahan maksimum. Nilai V dan  $\delta$  yang ditampilkan merupakan performance point yang diperoleh dari hasil analisis *pushover*.

Berdasarkan evaluasi menggunakan metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) dan *Displacement Coefficient Method* (DCM), perilaku sendi plastis pada model 1 menyebabkan struktur rangka arah X dan Y memenuhi kriteria kinerja yang ditetapkan dalam BSE-1N, yakni berada di bawah tingkat Life Safety (LS). Hal yang sama juga terjadi pada struktur rangka X model 2 dan 3, dimana struktur memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam BSE-1N. Sebaliknya, struktur arah Y pada Model 2 dan 3 menunjukkan kinerja yang melebihi tingkat Collapse Prevention (CP), yang berarti tidak memenuhi kriteria BSE-1N. Oleh karena itu, perlu dilakukan perkuatan pada struktur arah Y agar dapat memenuhi target kinerja di bawah LS.

Pada evaluasi terhadap tingkat gempa BSE-2N, hanya Model 1 yang masih berada dalam batas kinerja pada kedua struktur rangka baik arah X dan Y, yakni antara Immediate Occupancy (IO) hingga Life Safety (LS), sehingga tidak

melampaui CP. Sedangkan pada Model 2 dan 3, hanya struktur arah X yang masih berada dalam batas kinerja. Sedangkan, pada struktur arah Y tidak memenuhi kriteria kinerja yang dipersyaratkan oleh BSE-1N maupun BSE-2N.

Tabel 2. Kinerja struktur pada model 1 arah X dan Y

Standar	Arah	Tingkat Gempa	Perpindahan Atap (mm)	Step	Batas Kerusakan
FEMA 440 (CSM)	X	BSE-1N	429,9	28	IO-LS
		BSE-2N	643,6	42	IO-LS
	Y	BSE-1N	534,8	35	IO-LS
		BSE-2N	791,2	52	IO-LS
ASCE 41-17 (DCM)	X	BSE-1N	448,7	30	IO-LS
		BSE-2N	673,1	45	IO-LS
	Y	BSE-1N	546	37	IO-LS
		BSE-2N	819,1	55	IO-LS

Tabel 3. Kinerja struktur pada model 2 arah X dan Y

Standar	Arah	Tingkat Gempa	Perpindahan Atap (mm)	Step	Batas Kerusakan
FEMA 440 (CSM)	X	BSE-1N	432,4	28	IO-LS
		BSE-2N	647,3	43	IO-LS
	Y	BSE-1N	277,1	18	>CP
		BSE-2N	504,2	33	>CP
ASCE 41-17 (DCM)	X	BSE-1N	450,8	31	IO-LS
		BSE-2N	676,2	46	IO-LS
	Y	BSE-1N	223,5	11	>CP
		BSE-2N	335,2	23	>CP

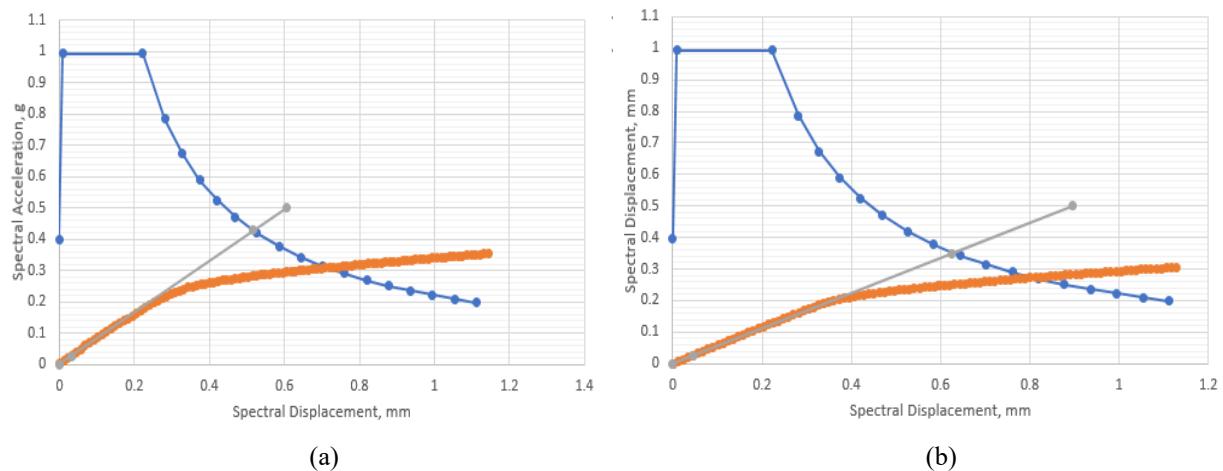
Tabel 4. Kinerja struktur pada model 3 arah X dan Y

Standar	Arah	Tingkat Gempa	Perpindahan Atap (mm)	Step	Batas Kerusakan
FEMA 440 (CSM)	X	BSE-1N	432,3	28	IO-LS
		BSE-2N	647,2	43	IO-LS
	Y	BSE-1N	246,1	16	>CP
		BSE-2N	400,6	26	>CP
ASCE 41-17 (DCM)	X	BSE-1N	450,8	31	IO-LS
		BSE-2N	676,2	46	IO-LS
	Y	BSE-1N	229,1	16	>CP
		BSE-2N	343,7	23	>CP

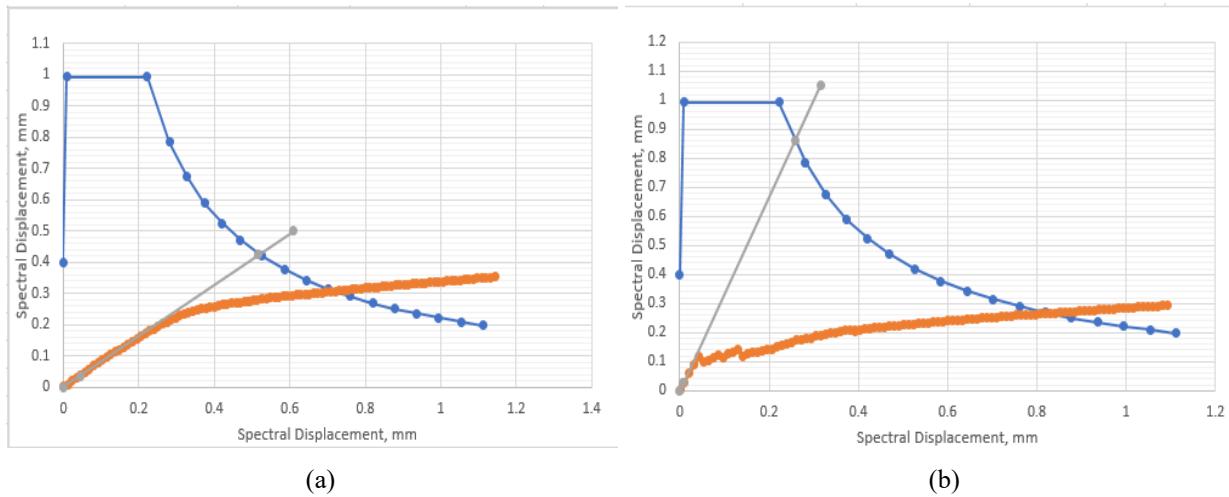
#### Analisis parameter daktilitas struktur

Evaluasi terhadap parameter daktilitas struktur, yaitu faktor reduksi gempa ( $R$ ), faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) untuk tingkat gempa BSE-2N dilakukan mengacu pada pedoman FEMA P-695 (2009). Untuk keperluan tersebut, kurva respon spektrum diplot bersamaan dengan kurva pushover yang telah diubah ke dalam format ADRS, yaitu grafik antara percepatan spektral ( $S_a$ ) dan perpindahan spektral ( $S_d$ ). Hasil pemodelan kurva kapasitas ditampilkan pada Gambar 8, 9, dan 10.

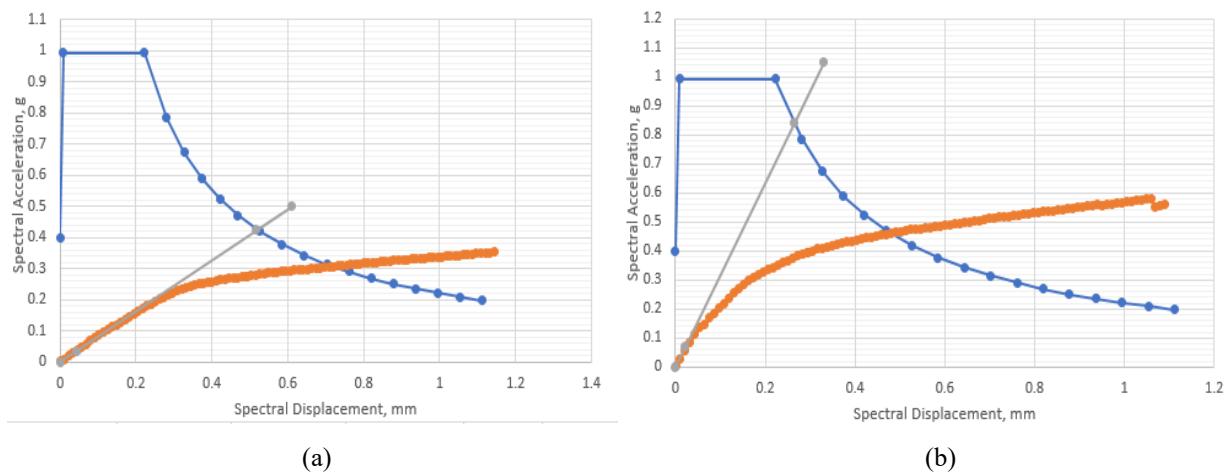
Dari Gambar 8, 9 dan 10 dapat diperoleh nilai-nilai penting seperti gaya geser elastik ( $V_E$ ), perpindahan elastik ( $\delta_E$ ), gaya geser maksimum ( $V_{ult}$ ), perpindahan maksimum ( $\delta_{ult}$ ), gaya geser saat leleh pertama ( $V_y$ ), serta perpindahan saat leleh pertama ( $\delta_y$ ). Berdasarkan nilai-nilai tersebut dan dengan menggunakan persamaan (1) hingga (3), dilakukan perhitungan parameter daktilitas struktur, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5, 6, dan 7



Gambar 8. Kurva kapasitas struktur ( $S_a$  vs  $S_d$ ) model 1 dengan di (a) arah X dan (b) arah Y



Gambar 9. Kurva kapasitas struktur ( $S_a$  vs  $S_d$ ) model 2 dengan di (a) arah X dan (b) arah Y



Gambar 10. Kurva kapasitas struktur ( $S_a$  vs  $S_d$ ) model 3 dengan di (a) arah X dan (b) arah Y

Tabel 5. Hasil analisis parameter duktilitas struktur pada Model 1

Arah	$R$	$\Omega_0$	$C_d$
X	7,9965	4,7643	7,1928

Y	7,9564	4,2081	5,9957
---	--------	--------	--------

Tabel 6. Hasil analisis parameter daktilitas struktur pada Model 2

Arah	R	$\Omega_0$	$C_d$
X	7,9588	4,7545	7,1872
Y	8,0033	1,7677	3,4539

Tabel 7. Hasil analisis parameter daktilitas struktur pada Model 3

Arah	R	$\Omega_0$	$C_d$
X	7,9584	4,7544	7,1868
Y	8,0135	3,435	6,5358

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Pada Model 1, struktur pada arah X dan Y menunjukkan kinerja seismik yang sesuai dengan tingkat yang diharapkan berdasarkan evaluasi terhadap beban gempa BSE-1N dan BSE-2N.
2. Pada Model 2 dan 3, struktur pada arah Y menunjukkan kinerja seismik yang melebihi tingkat yang ditetapkan untuk beban gempa BSE-1N dan BSE-2N. Kondisi ini menandakan bahwa penggunaan *bracing* dianggap tidak efektif dalam struktur yang telah di desain dan diperlukan perkuatan struktur pada balok, kolom, dan *bracing* agar kinerjanya dapat diturunkan sesuai dengan level yang dipersyaratkan oleh BSE-1N dan BSE-2N.
3. Berdasarkan hasil perhitungan parameter daktilitas struktur pada arah X dan Y, nilai R pada model 1, 2, dan 3 relatif sama, dengan nilai berkisar di 8. Hal ini menandakan bahwa struktur akan mulai mengalami peleahan pada tingkat gaya geser yang proporsional terhadap gaya elastik, sehingga respons inelastik terhadap gempa berada pada tingkat yang setara.
4. Berdasarkan hasil perhitungan parameter daktilitas struktur pada arah Y, nilai  $\Omega_0$  pada model 2 dan 3 lebih rendah dibandingkan model 1. Hal ini menandakan bahwa kekuatan aktual struktur tidak jauh melebihi kekuatan desainnya, sehingga struktur mampu mendisipasi gaya gempa yang lebih besar dari asumsi desain. Dengan kata lain, struktur tersebut memiliki kapasitas cadangan kekuatan yang terbatas, namun tetap mampu menyerap energi gempa secara efektif dalam batas desain yang telah ditentukan.
5. Berdasarkan hasil perhitungan parameter daktilitas pada arah Y, nilai  $C_d$  pada model 2 lebih rendah dibandingkan model 1. Hal ini menandakan bahwa struktur memiliki kemampuan untuk mengalami deformasi inelastik dalam bentuk perpindahan yang lebih terbatas. Dengan kata lain, struktur cenderung lebih kaku dan kurang fleksibel dalam menahan gempa. Di lain sisi, model 3 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan model 1.
6. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, struktur komposit dengan dimensi yang sama menunjukkan kinerja seismik yang lebih baik tanpa menggunakan sistem *bracing*. Apabila ingin melakukan penambahan kekakuan dengan *bracing*, maka diperlukan pengecekan ulang terhadap dimensi struktur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (SNI 1726:2019). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Council, A. T. (1995). *Structural response modification factors (ATC-19)*. California: Applied Technology Council.
- Council, A. T. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1 (ATC 40)*. California: Applied Technology Council.
- Marcella, V., & Christianto, D. (2022). Analisis R,  $\Omega_0$ , CD pada struktur rangka beton bertulang dengan multistory x-bracing menggunakan metode pushover. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(2), 457-468. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i2.16975>
- Najam, F. A. (2017). Nonlinear static analysis procedures for seismic performance evaluation of existing buildings— evolution and issues. In *International Congress and Exhibition" Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology"*. (ss. 180-198). Cham: Springer International Publishing.
- Prabowo, A., & Lase, Y. (2016). Tinjauan nilai faktor modifikasi respon (R) dan faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) pada struktur gabungan rangka baja dan rangka beton bertulang dengan analisis pushover. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 23(1), 75-88. <https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.1.8>

- Sungkana, K. E., Prabowo, A., & Christianto, D. (2025). Evaluasi kinerja struktur bangunan gedung perkantoran 7 lantai dengan analisis pushover. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(8), 587-600. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i2.32771>
- Sutanto, K. M., & Christianto, D. (2022). Analisis nilai faktor daktilitas dengan metode pushover dengan perkuatan bresing diagonal. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(2), 469-480. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i2.16671>
- Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain rekayasa berbasis kinerja*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Tubuh, I. D., Wirawan, I. A., & Sukharatta, I. W. (2022). Level kinerja struktur gedung B SMP Negeri 14 Denpasar menggunakan analisis pushover berdasarkan Fema 356. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 11(1), 47-56.
- Tubuh, I. D., Wiryadi, I. G., Wirawan, I. A., & Kondamay, H. M. (2023). Evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan metode spektrum kapasitas (ATC-40) dan target perpindahan modifikasi (FEMA 440). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil: A Scientific Journal of Civil Engineering*, 27(1), 1-11. <https://doi.org/10.24843/JITS.2023.v27.i01.p0>