

Studi Perbandingan Kinerja Sistem Struktur Setback berdasarkan Metode ATC 40, FEMA 356 dan SNI 1726:2012

Comparative Study of the Performance of the Setback Structure System based on the ATC 40, FEMA 356 and SNI 1726: 2012 Methods

Elias Godelfridus Arman¹, Remigildus Cornelis², Tri M. W. Sir^{3*)}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145,

Article info:

Kata kunci:

Kinerja, struktur, *setback*, *non setback*, *drift*

Keywords:

Performance, structure, setback, non setback, drift

Article history:

Received: 18-01-2021

Accepted: 21-03-2021

*)Koresponden email:

elfridarman@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan level kinerja sistim struktur *setback* dan struktur *non setback* menggunakan metode *ATC-40*, *FEMA 356* dan *SNI 1726-2012*. Struktur *non setback* memiliki bentang terpendek adalah 15 m, terpanjang adalah 20 m dan tinggi setiap lantai adalah 3,5 m. Model *setback* diaplikasikan pada arah bentang terpanjang pada level lantai 5 dan 6 sepanjang 10 m. Hasil penelitian menunjukkan level kinerja berdasarkan metode *ATC-40*, *FEMA 356* dan *SNI 1726-2012* pada sistem struktur *sectback* adalah level *immediate occupancy* sedangkan pada sistem struktur *non setback*, berdasarkan *SNI 1726-2012*, level kinerjanya adalah *immediate occupancy* untuk arah bentang terpanjang sedangkan arah bentang terpendek level kinerjanya adalah *damage control* sebaliknya berdasarkan metode *ATC-40* dan *FEMA 356*, level kinerja struktur *non setback* adalah berada pada level *immediate occupancy*. *Drift* pada bangunan *non setback* berdasarkan metode *SNI 1726-2012* adalah 0,011, berdasarkan metode *ATC-40* adalah 0,007, dan berdasarkan *FEMA 356* adalah 0,005. *Drift* pada bangunan *setback* berdasarkan metode *SNI 1726-2012* adalah 0,010, berdasarkan Metode *ATC-40* adalah 0,006, dan berdasarkan *FEMA 356* adalah 0,004.

Abstract

The aim of this study was to compare the performance level of the setback structure system and the non-setback structural system using the *ATC-40*, *FEMA 356* and *SNI 1726-2012* methods. The non-setback structure have the shortest span of 15 m, the longest span of 20 m and the level of each floor was 3.5 m but the setback structure have setback system on the longest span of 10 m at the 5th and 6th floor level. The results showed that the performance level based on all methods of the sectback structure system is at the immediate occupancy level while the non-setback structure system, based on *SNI 1726-2012*, the performance level is immediate occupancy for the longest span and the shortest span is damage control. On the other hand, based on the *ATC-40* and *FEMA 356* methods, the performance level of the non-setback structure is at the immediate occupancy level. Drift on non-setback buildings based on the *SNI 1726-2012* method is 0.011, based on the *ATC-40* method is 0.007, and based on *FEMA 356* is 0.005. Drift on the setback building based on the *SNI 1726-2012* method is 0.010, based on the *ATC-40* method is 0.006, and based on *FEMA 356* is 0.004.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan mengalami gempa bumi. Untuk mengurangi resiko gempa terhadap bangunan bertingkat diperlukan desain bangunan tahan gempa, dimana struktur bangunan diharapkan tidak mengalami kerusakan struktural pada saat terjadi gempa. Metode terbaru yang digunakan dalam desain bangunan tahan gempa yaitu Metode Desain Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*) yang merupakan metode desain bangunan tahan gempa yang mengutamakan keamanan, kontrol pada deformasi dan kinerja yang lain harus memenuhi persyaratan (Tavio dan Usman Wijaya, 2018).

Perkembangan ilmu arsitektur yang cukup pesat berdampak pada bertambahnya model bangunan ireguler seperti bangunan *setback*. Bangunan *setback* memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan bangunan beraturan, karena terdapat daerah peralihan dari tingkat dengan kekakuan yang tinggi ke tingkat dengan kekakuan yang rendah. Dalam penelitian ini dilakukan studi perbandingan kinerja sistem struktur *setback* menggunakan metode *ATC-40*, *FEMA 356*, dan *SNI 1726:2012* dengan model struktur bangunan gedung 6 lantai dan fungsi gedung sebagai perkantoran yang berlokasi di Kota Kupang.

2. Bahan dan Metode

Model struktur 3D bangunan *non setback* dan bangunan *setback* dapat dilihat pada Gambar 1.



(a) Model 3D Struktur Non Setback

(b) Model 3D Struktur Setback

Gambar 1. Model 3D Struktur Non Setback dan Setback

Penelitian dimulai dengan melakukan pengumpulan data dan informasi gedung yang terdiri dari data primer (*layout* bangunan, tinggi antar lantai, beban mati, dan beban hidup) dan data sekunder (hasil penyelidikan tanah, dan data gempa). Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan struktur awal dan evaluasi kekutan struktur untuk penentuan dimensi penampang balok dan kolom yang memenuhi (*stress rasio* ≤ 1). Setelah dimensi penampang balok dan kolom memenuhi pada dua model struktur (model struktur *non setback* dan model struktur *setback*) dilakukan analisis dinamik (melibatkan beban gempa) dan dilakukan pengecekan terhadap periode getar fundamental struktur ($T \leq T_{max}$) dan pengecekan terhadap simpangan antar lantai (simpangan antar lantai \leq simpangan antar lantai ijin). Jika dari dua pengecekan tersebut sudah memenuhi maka dilakukan pendetailan pada elemen struktur (pelat, balok, dan kolom) untuk menentukan luas tulangan aktual yang terpasang untuk selanjutnya dilakukan analisis *pushover* untuk model struktur *non setback* dan model struktur *setback*, kemudian dilanjutkan dengan evaluasi kinerja struktur menggunakan metode *ATC-40* dan *FEMA 356* untuk mendapatkan level kinerja struktur dari struktur yang dimodelkan.

2.1. Idealisasi Respons Struktur Menurut SNI 1726:2012

Dalam SNI Gempa 1726:2012 ada 3 parameter penting yang digunakan yaitu faktor modifikasi respon, R , faktor kuat lebih, Ω , faktor pembesaran defleksi, C_d .

Prosedur Gaya Lateral Ekvivalen:

1. Gaya desar seismik, V

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

$$C_s = \frac{S_{DI}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2)$$

2. Distribusi vertikal gaya gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (4)$$

3. Distribusi horisontal gaya gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingka (V_x) (kN) harus ditentukan dengan Persamaan 5.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (5)$$

4. Penentuan simpangan antar lantai

Defleksi pusat massa di tingkat x , ditentukan dengan Persamaan 6.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (6)$$

Simpangan antar lantai untuk lantai ke-1 (Δ_1) ditentukan dengan Persamaan 7 dan untuk lantai ke-2 (Δ_2) ditentukan dengan Persamaan 8.

$$\Delta_1 = \frac{\delta_{e1} C_d}{I} \quad (7)$$

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e1} - \delta_{e2}) C_d}{I} \quad (8)$$

2.2. Kinerja Struktur Berdasarkan Metode ATC-40

Dalam metode ATC-40, metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur adalah dengan metode spektrum kapasitas (*capacity spectrum*). Metode spektrum kapasitas adalah dengan memplotkan *demand* respons spektrum dan kurva kapasitas dalam suatu format antara spektral percepatan vs spektral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*.

Untuk merubah kurva kapasitas kedalam format ADRS maka digunakan Persamaan 9 – Persamaan 12.

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (9)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1} / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (10)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (11)$$

$$S_a = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof .1}} \quad (12)$$

Dimana:

- PF_1 : faktor partisipasi modal pada *mode* pertama
- α_1 : modal koefisien massa pada *mode* pertama
- w_i/g : massa pada tingkat ke-*i*
- ϕ_{i1} : amplitudo *mode*-1 pada tingkat ke-*i*
- N : tingkat *N*, tingkat tertinggi pada proporsi utama struktur
- V : gaya geser dasar
- W : berat bangunan
- Δ_{roof} : perpindahan atap
- S_a : spektra percepatan
- S_d : spektra perpindahan

Respons spektrum standar (S_a vs T) menjadi spektrum kapasitas dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS)* melalui Persamaan 13.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (13)$$

Dimana:

- S_a : spektra percepatan, g
- S_d : spektra perpindahan, m
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- T : periode getar fundamental, detik

2.3. Kinerja Struktur Berdasarkan Metode *FEMA 356*

Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis dari sistem *SDOF* ekuivalen dengan faktor koefisien $C_0, C_1, C_2,$ dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut target perpindahan (δ_T).

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (14)$$

Dimana:

- T_e = waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
- C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama berdasarkan Tabel 3-2 dari *FEMA 356*
- C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.
 $C_1 = 1.0$ untuk $T_e \geq T_s$

$$C_1 = \frac{\left[1 + (R - 1) \cdot \frac{T_s}{T_e} \right]}{R}$$
 untuk $T_e < T_s$
- T_s = waktu getar yang diperoleh dari kurva respon spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.
- R = rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung.
- S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.
- C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 *FEMA 356*
- C_2 = faktor modifikasi yang mewakili efek dari bentuk histeristis pada perpindahan maksimum, diambil berdasarkan Tabel 3-3 *FEMA 356*

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat *P-Delta*. Jika gedung pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun).

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif

g = percepatan gravitasi 9,81 m/detik²

3. Hasil dan Pembahasan

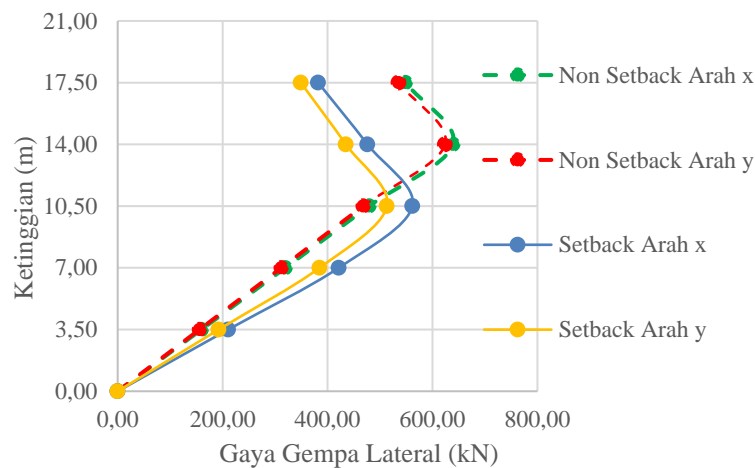
3.1. Perbandingan Gaya Gempa Lateral Bangunan Non Setback dan Setback

Perbandingan gaya gempa lateral pada bangunan *non setback* dan bangunan *setback* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Gaya Gempa Lateral

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback	
		F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)	F_{ix} (kN)	F_{iy} (kN)
Lantai 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lantai 2	3,50	159,81	156,01	210,68	192,43
Lantai 3	7,00	319,62	312,02	421,35	384,87
Lantai 4	10,50	479,43	468,04	561,67	513,04
Lantai 5	14,00	639,24	624,05	476,02	434,80
Lantai 6	17,50	548,58	535,54	382,10	349,01

Grafik perbandingan gaya gempa lateral pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Gaya Gempa Lateral

3.2. Perbandingan Perpindahan Bangunan Non Setback dan Setback

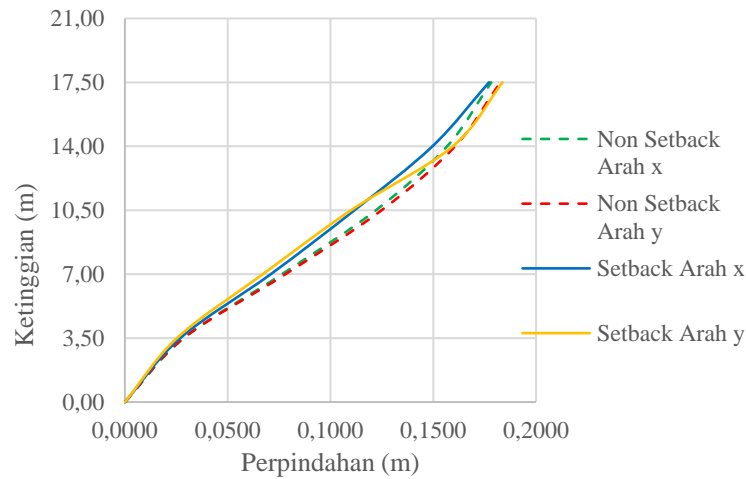
Perbandingan perpindahan tiap lantai pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Perpindahan pada Bangunan Non Setback dan Setback

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback	
		δ_x	δ_y	δ_x	δ_y

		(m)	(m)	(m)	(m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0286	0,0286	0,0270	0,0253
Lantai 3	7,00	0,0765	0,0781	0,0710	0,0671
Lantai 4	10,50	0,1221	0,1249	0,1117	0,1100
Lantai 5	14,00	0,1568	0,1606	0,1496	0,1595
Lantai 6	17,50	0,1782	0,1826	0,1771	0,1837

Grafik perbandingan gaya gempa lateral pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perpindahan

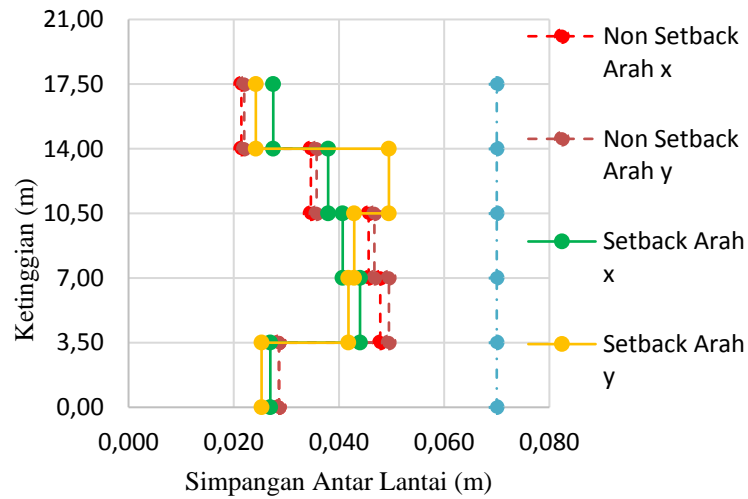
3.3. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Bangunan *Non Setback* dan *Setback* Hasil Analisis Respons Spektrum

Perbandingan simpangan antar lantai pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Simpangan pada Bangunan *Non Setback* dan *Setback*

Lantai	Ketinggian (m)	<i>Non Setback</i>		<i>Setback</i>	
		Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_x (m)	Δ_y (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0286	0,0286	0,0270	0,0253
Lantai 3	7,00	0,0479	0,0495	0,0440	0,0418
Lantai 4	10,50	0,0457	0,0468	0,0407	0,0429
Lantai 5	14,00	0,0347	0,0358	0,0380	0,0495
Lantai 6	17,50	0,0215	0,0220	0,0275	0,0242

Grafik perbandingan simpangan antar lantai pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perpindahan Simpangan Antar Lantai

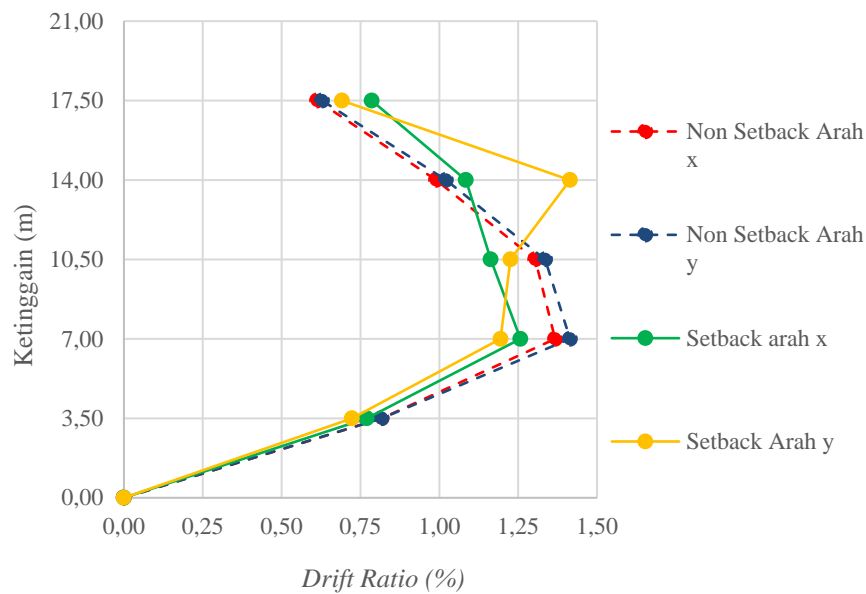
3.4. Perbandingan *Drift Ratio* Bangunan *Non Setback* dan *Setback*

Perbandingan *drift ratio* pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan *Drift Ratio* Bangunan *Non Setback* dan *Setback*

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback	
		<i>Drift Ratio</i> arah x (%)	<i>Drift Ratio</i> arah y (%)	<i>Drift Ratio</i> arah x (%)	<i>Drift Ratio</i> arah y (%)
Lantai 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lantai 2	3,50	0,82	0,82	0,77	0,72
Lantai 3	7,00	1,37	1,41	1,26	1,19
Lantai 4	10,50	1,30	1,34	1,16	1,23
Lantai 5	14,00	0,99	1,02	1,08	1,41
Lantai 6	17,50	0,61	0,63	0,79	0,69

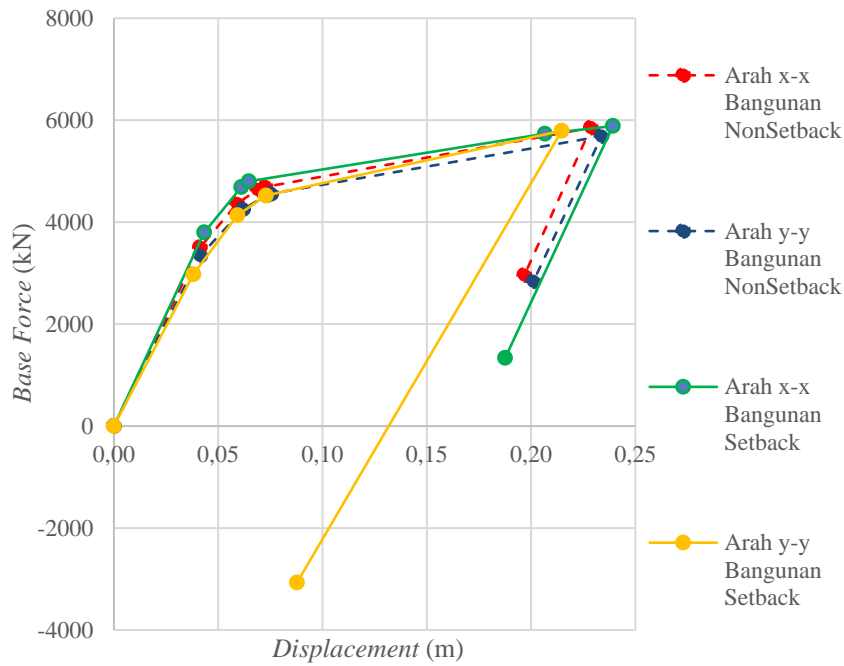
Grafik perbandingan *drift ratio* pada bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik *Drift Ratio*

3.5. Perbandingan Kurva Kapasitas untuk Bangunan Non Setback dan Setback

Perbandingan kurva kapasitas untuk bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 6.

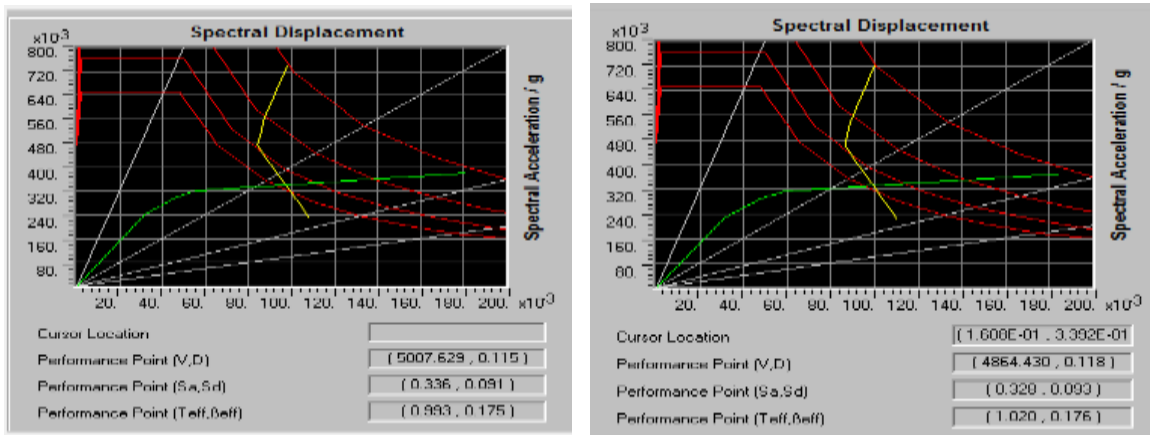


Gambar 6. Kurva Kapasitas

3.6. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Non Setback

3.6.1. Metode ATC-40

Hasil spektrum kapasitas untuk bangunan *non setback* pada dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek)

Gambar 7. Spektrum Kapasitas Bangunan Non Setback

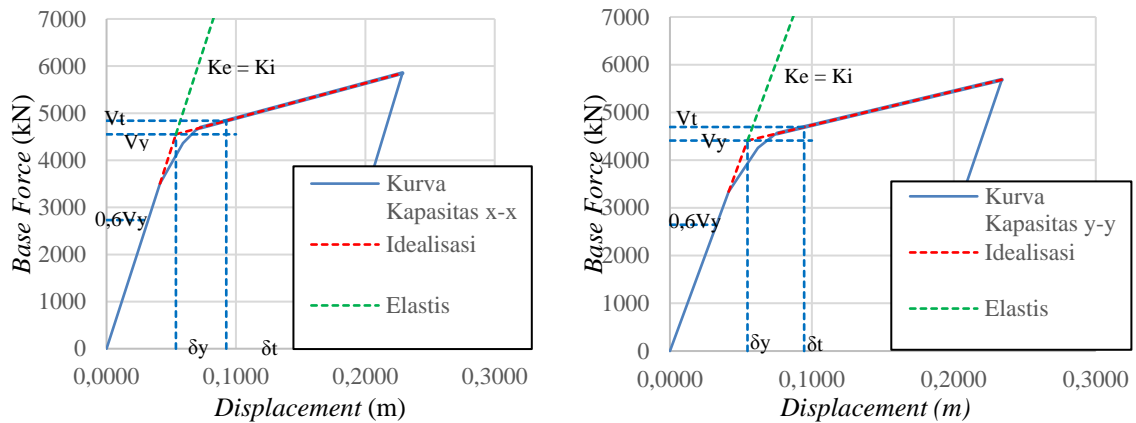
- *Drift* Arah x-x (bentang terpanjang)

$$\begin{aligned}
 Drift_{x-x} &= \frac{Displacement \text{ Arah } x-x}{Tinggi \text{ total bangunan}} \\
 &= \frac{0,115}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

- *Drift* Arah y-y (bentang terpendek)

$$\begin{aligned}
 Drift_{y-y} &= \frac{Displacement \text{ Arah } y-y}{Tinggi \text{ total bangunan}} \\
 &= \frac{0,118}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

Kurva *biner pushover* arah x-x (arah bentang terpanjang) dan arah y-y (arah bentang terpendek) untuk bangunan *non setback* dapat dilihat pada Gambar 8.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang) (b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek)

Gambar 8. Kurva Biner Pushover Bangunan Non Setback

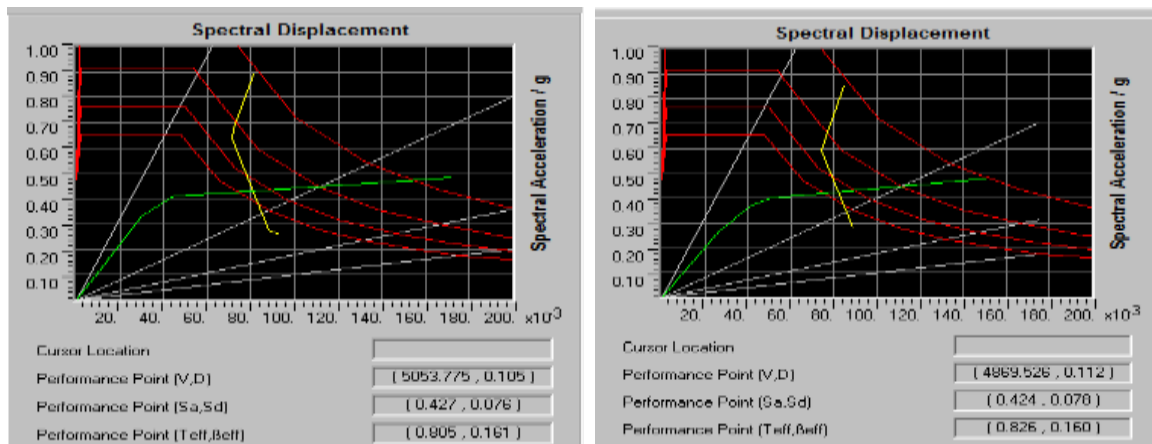
Perpindahan arah x-x (arah bentang terpanjang), $\delta_{T-x-x} = 0,093$ m

Perpindahan arah y-y (arah bentang terpendek), $\delta_{T-y-y} = 0,095$ m

3.7. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Setback

3.7.1. Metode ATC-40

Hasil spektrum kapasitas untuk bangunan *non setback* pada dapat dilihat pada Gambar 9.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang, Terdapat Setback)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek, Tanpa Setback)

Gambar 9. Spektrum Kapasitas Bangunan Setback

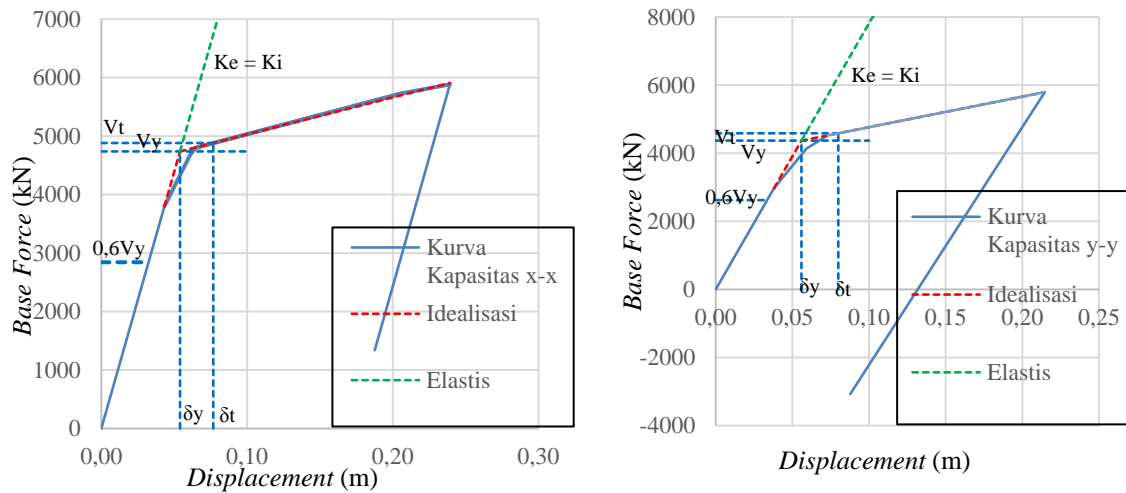
- *Drift* Arah x-x (bentang terpanjang, terdapat setback))

$$\begin{aligned} \text{Drift}_{x-x} &= \frac{\text{Displacement Arah x-x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\ &= \frac{0,105}{17,50} \\ &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy} \end{aligned}$$

- *Drift* Arah y-y (bentang terpendek, tanpa setback)

$$\begin{aligned} \text{Drift}_{y-y} &= \frac{\text{Displacement Arah y-y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\ &= \frac{0,112}{17,50} \\ &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy} \end{aligned}$$

Kurva *biner pushover* arah x-x (arah bentang terpanjang) dan arah y-y (arah bentang terpendek) untuk bangunan *non setback* dapat dilihat pada Gambar 10.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang, Terdapat *Setback*)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek, Tanpa *Setback*)

Gambar 10. Kurva *Biner Pushover* Bangunan *Setback*

Perpindahan arah x-x (arah bentang terpanjang, terdapat *setback*), $\delta_{T,x-x} = 0,093$ m
 Perpindahan arah y-y (arah bentang terpendek, tanpa *setback*), $\delta_{T,y-y} = 0,095$ m

3.8. Perbandingan Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40, FEMA 356, dan SNI 1726:2012

Target perpindahan dan simpangan (*drift*) yang terjadi pada bangunan *non setback* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Target Perpindahan dan *Drift* Bangunan *Non Setback*

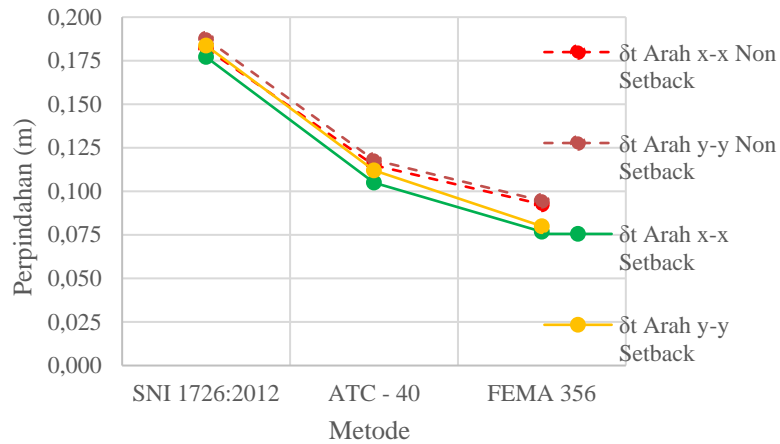
Metode	δ_T Arah x-x (bentang terpanjang) m	δ_T Arah y-y (bentang terpendek) m	<i>Drift</i> Arah x-x (bentang terpanjang) m	<i>Drift</i> Arah y-y (bentang terpendek) m
SNI 1726:2012	0,182	0,188	0,010	0,011
ATC - 40	0,115	0,118	0,007	0,007
FEMA 356	0,093	0,095	0,005	0,005

Target perpindahan dan simpangan (*drift*) yang terjadi pada bangunan *setback* dapat dilihat pada Tabel 6.

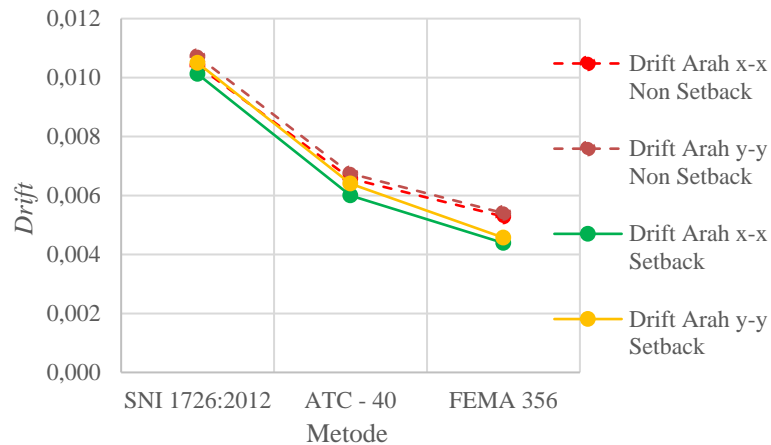
Tabel 6. Target Perpindahan dan *Drift* Bangunan *Setback*

Metode	δ_T Arah x-x (bentang terpanjang; terdapat <i>setback</i>) m	δ_T Arah y-y (bentang terpendek; tanpa <i>setback</i>) m	<i>Drift</i> Arah x-x (bentang terpanjang; terdapat <i>setback</i>) m	<i>Drift</i> Arah y-y (bentang terpendek; tanpa <i>setback</i>) m
SNI 1726:2012	0,177	0,184	0,010	0,010
ATC - 40	0,105	0,112	0,006	0,006
FEMA 356	0,077	0,080	0,004	0,005

Grafik target perpindahan dan simpangan (*drift*) dari bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Grafik Target Perpindahan



Gambar 12. Grafik *Drift*

Level kinerja dari bangunan *non setback* dan *setback* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Level Kinerja

Model Struktur	Arah	Parameter	Metode		
			SNI 1726:2012	ATC-40	FEMA 356
<i>Non Setback</i>	Arah x-x (bentang terpanjang)	<i>Drift</i>	0,010	0,007	0,005
		Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
	Arah y-y (bentang terpendek)	<i>Drift</i>	0,011	0,007	0,005
		Level Kinerja	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Setback</i>	Arah x-x (bentang terpanjang; terdapat <i>setback</i>)	<i>Drift</i>	0,010	0,006	0,004
		Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
	Arah y-y (bentang terpendek; tanpa <i>setback</i>)	<i>Drift</i>	0,010	0,006	0,004
		Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

4. Kesimpulan

1. Kurva kapasitas bangunan *setback* menunjukkan kapasitas struktur pada arah yang terdapat variasi *setback* lebih besar (*displacement* lebih besar) dibandingkan kapasitas struktur pada arah tanpa variasi *setback*. Kapasitas struktur untuk bangunan *non setback* pada arah memanjang bangunan lebih besar daripada arah pendek bangunan.
2. Metode *FEMA 356* menghasilkan level kinerja *Immediate Occupancy* dengan *drift* lebih kecil dibandingkan *drift* hasil analisis menggunakan metode *ATC-40* dan SNI 1726-2012.

5. Saran

1. Memperhatikan pemodelan struktur, satuan, pembebanan, dan pemasukan data material dalam *software* untuk menghindari kesalahan analisis.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* pada struktur yang dimodelkan.

Daftar Pustaka

- ASCE 7-02. (2002). *Minimum Design Loads for Building and Other Structures: Second Edition*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings: Volume I*. California: Applied Technology Council.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta: BSN.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Universitas Pelita Harapan.
- Efrida, R. Pengaruh *Setback* pada Bangunan dengan *Soft Story* terhadap Kinerja Struktur akibat Beban Gempa. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 4(1 JUNI), 62-69.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington,DC: Federal Emergency Management Agency.
- Kalkan, E., & Kunnath, S. K. (2007). Assessment of Current Nonlinear Static Procedures for Seismic Evaluation of Buildings. *Engineering Structures*, 29(3), 305-316.
- Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4).
- Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis. *Prosiding PESAT*, 5.
- PPIUG. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Tavio & Wijaya, Usman. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI.
- Tumbal, T. E. F., Windah, R. S., & Mondoringin, M. R. (2019). Pengaruh *Set-Back* Pada Tingkat Teratas Bangunan Bertingkat Akibat Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 7(6).