



Kinerja Ketidakberaturan Kekakuan Struktur Menggunakan Metode DDBD dan CSM

Ika Nurelisa, * Amalia

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Depok

*amalia@sipil.pnj.ac.id

Received: 21 Oktober 2020 Revised: 22 Juli 2022 Accepted: 28 Juli 2022

Abstract

The current earthquake-resistant building planning concept leads to a performance-based design concept. In this study, the direct displacement based design (DDBD) method was used to design the earthquake load and the capacity spectrum method (CSM) to determine the level of building performance using pushover analysis. The purpose of this study is to analyze and compare the performance of regular buildings with buildings that have irregular soft story stiffness. The building to be reviewed in this study consists of 3 variations of the building with a total of 8 floors. Variation A of regular buildings, Variation B of buildings with irregularity of soft story stiffness on the 1st floor, and Variation C of buildings with irregularity of soft story stiffness on the 5th floor. The maximum displacement value occurs in Variation C, the X direction is 0.281m and the Y direction is 0.304m. The mechanism for the occurrence of plastic joints in variations A, B, and C is in accordance with the strength column weak beam design concept. The earliest collapses occurred in Variation B buildings and the last occurred in Variation A buildings. Performance of variations A, B, and C structures using the CSM method was at the level of Damage Control.

Keywords: Capacity spectrum method, DDBD, performance level, pushover analysis, soft story

Abstrak

Konsep perencanaan bangunan tahan gempa saat ini mengarah pada konsep berbasis kinerja (performance based design). Dalam penelitian ini digunakan metode direct displacement based design (DDBD) untuk mendesain beban gempa dan capacity spectrum method (CSM) untuk menentukan level kinerja bangunan dengan menggunakan analisis pushover. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan kinerja bangunan beraturan dengan bangunan yang memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini terdiri dari 3 variasi bangunan dengan jumlah 8 lantai. Variasi A bangunan beraturan, Variasi B bangunan dengan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada lantai 1, dan Variasi C bangunan dengan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada lantai 5. Nilai perpindahan maksimum terjadi pada bangunan Variasi C, arah X sebesar 0,281 m dan arah Y sebesar 0,304 m. Mekanisme terjadinya sendi plastis pada Variasi A, B, dan C sesuai dengan konsep desain strength column weak beam. Keruntuhan paling awal terjadi pada bangunan Variasi B dan paling akhir terjadi pada bangunan Variasi A. Kinerja struktur bangunan Variasi A, B dan C menggunakan metode CSM berada pada level Damage Control.

Kata kunci: Capacity spectrum method, DDBD, Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, Level kinerja, Pushover analysis

Pendahuluan

Wilayah Indonesia berada di daerah *ring of fire* sehingga sering terjadi gempa bumi. Pada tahun 2019, BMKG mencatat sebanyak 11.473 kali gempa bumi di Indonesia. Oleh karena itu, diperlukann perencanaan bangunan tahan gempa

untuk mengurangi risiko terjadinya kerusakan pada bangunan dan jatuhnya korban jiwa (Siswanto & Salim, 2018).

Perencanaan bangunan tidak selalu menghasilkan bentuk yang beraturan karena adanya keterbatasan lahan. Menurut SNI 1726:2019, ketidakberaturan

struktur dapat dibedakan menjadi dua yaitu ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal. Salah satu tipe ketidakberaturan vertikal yaitu ketidakberaturan tingkat lunak (*soft story*). Struktur yang digolongkan sebagai tingkat lunak jika terdapat suatu tingkat dengan kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tingkat di atasnya.

Beberapa bangunan di daerah Jakarta memiliki tinggi tingkat yang tidak seragam pada tiap lantainya. Tinggi tingkat yang tidak seragam ini dapat menyebabkan distribusi kekakuan yang tidak merata di seluruh bangunan secara vertikal. Jika tinggi salah satu tingkat berlebihan dibanding tinggi tingkat di atasnya dapat berpotensi menjadi tingkat lunak (*soft story*) (Siajaya *et al.*, 2018)

Bangunan tingkat tinggi akan runtuh jika tidak dirancang dan dibangun dengan benar berdasarkan peraturan yang ada (Shinde & Sadhana M, 2016). Perencanaan bangunan harus memperhatikan konsep perencanaan bangunan tahan gempa yang berbasis kinerja (*performance based design*) (Pawirodikromo, 2012). Konsep berbasis kinerja ini dapat menganalisis komponen struktur dan memberikan gambaran perilaku struktur saat pertama kali mengalami kegagalan akibat pengaruh gempa (Purba *et al.*, 2016).

Metode konsep perencanaan bangunan tahan gempa yaitu *capacity spectrum method*, metode N2 dan metode *direct displacement based design*, DDBD (Priestley *et al.*, 2007) Metode DDBD memiliki kinerja yang sangat baik dengan memberikan hasil kinerja struktur yang mendekati desain rencana dengan proses desain yang lebih efektif dan efisien (Asisi *et al.*, 2015). Sementara pada *capacity spectrum method*, titik kinerja bangunan diketahui dari titik potong antara kurva spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan dapat menggunakan analisis *pushover* (Pranata, 2006).

Struktur tahan gempa adalah bangunan yang merespon gempa dengan sifat daktilitas yang mampu bertahan dari keruntuhan, dan fleksibilitas dalam meredam getaran gempa. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah desain struktur beton bertulang yang memiliki tingkat daktilitas yang tinggi (Badan Standar Nasional, 2019b). SRPMK mengacu pada prinsip *Strong Column Weak Beam* yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai dan menghindari kegagalan geser pada balok, kolom dan *joint* serta menyediakan detail yang memungkinkan perilaku daktilitas (Honarto *et al.*, 2019). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai gaya geser dasar

struktur yang didesain menggunakan metode DDBD, mendapatkan nilai perpindahan dan simpangan antar lantai pada struktur dengan ketidakberaturan kekakuan. Selain itu juga untuk mendapatkan mekanisme terjadinya sendi plastis pada struktur, dan mendapatkan nilai kinerja struktur dengan ketidakberaturan kekakuan dengan metode CSM.

Metode

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan nilai kinerja struktur yang didesain menggunakan metode *direct displacement based design* dan *capacity spectrum method* pada bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan tingkat lunak. Tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 1.

Bangunan yang ditinjau direncanakan dengan tiga model variasi kekakuan. Denah bangunan seperti pada Gambar 2, bangunan variasi A pada Gambar 3 merupakan bangunan beraturan, variasi B pada Gambar 4 yang merupakan bangunan dengan ketidakberaturan tingkat lunak pada lantai 1, serta variasi C pada Gambar 5 merupakan bangunan ketidakberaturan tingkat lunak pada lantai 5. Model struktur bangunan dibuat 8 lantai. Fungsi bangunan sebagai perkantoran dan lokasi penelitian berada di Jakarta dengan klasifikasi tanah lunak (SE). Sistem struktur menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Metode DDBD digunakan untuk mendesain beban gempa dan metode CSM digunakan untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan hasil analisis *pushover*. Metode DDBD menekankan nilai perpindahan sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain (Tavio & Wijaya, 2018).

Langkah-langkah perhitungan beban gempa menggunakan metode DDBD sebagai berikut:

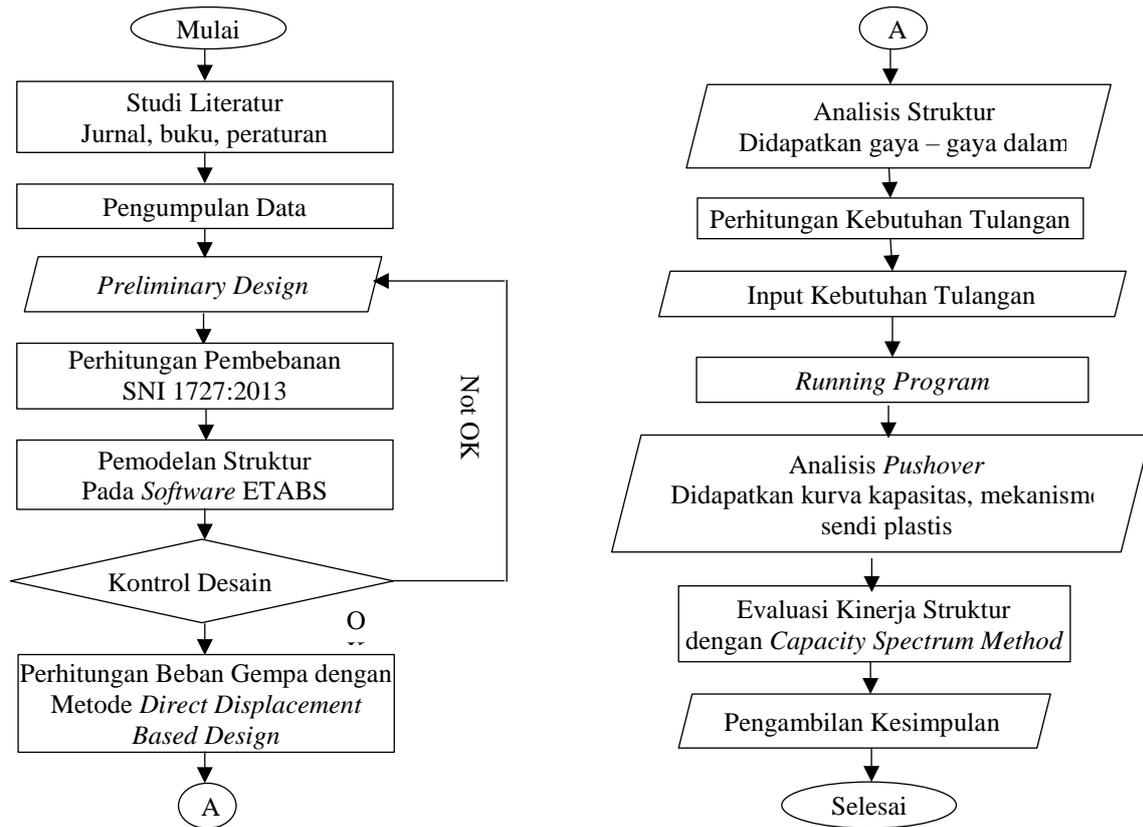
Menghitung rencana perpindahan tingkat

Persamaan untuk menghitung rencana perpindahan tingkat untuk lantai 1 adalah dengan menggunakan Persamaan 1, dan untuk tingkat selanjutnya dengan Persamaan 2.

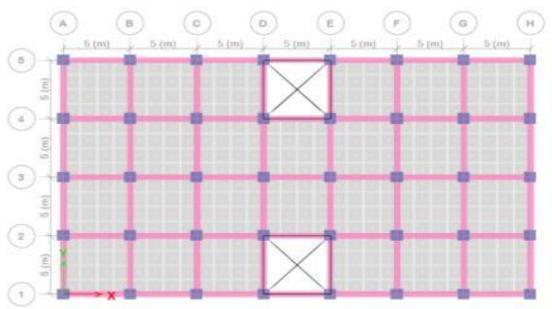
$$\Delta_1 = \theta \times H_1 \quad (1)$$

$$\Delta_i = \delta_i \frac{\Delta_1}{\delta_1} \quad (2)$$

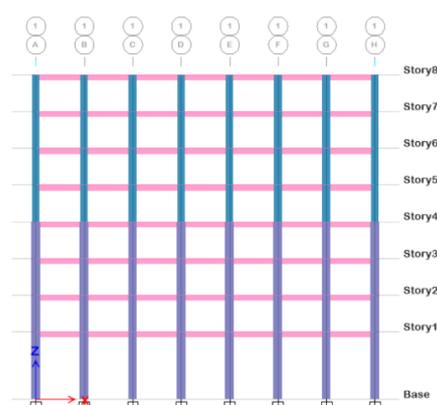
dimana Δ_1 merupakan perpindahan yang terjadi pada lantai ke-1, Δ_i adalah perpindahan yang terjadi pada lantai ke-i, m , H_i adalah total tinggi struktur pada lantai ke-i, m , θ adalah simpangan desain pada tingkat kinerja desain, dan δ adalah nilai *inelastic mode shape* berdasarkan jumlah lantai.



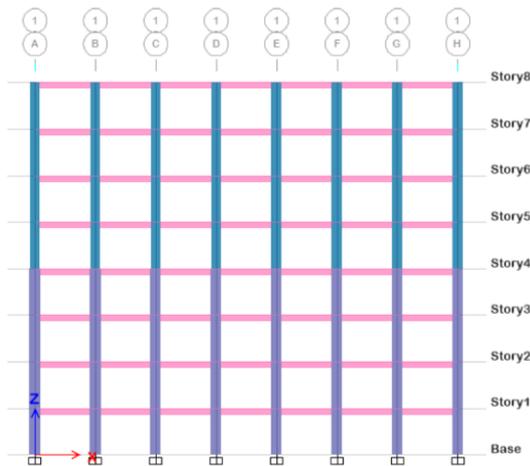
Gambar 1. Diagram alir



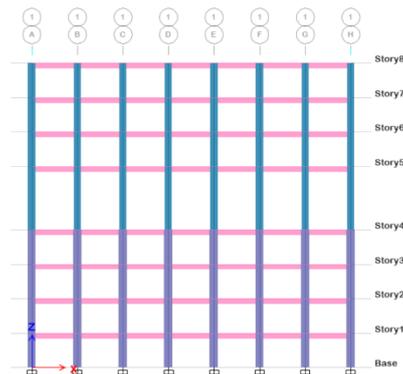
Gambar 2. Denah Bangunan



Gambar 4. Bangunan variasi B



Gambar 3. Bangunan variasi A



Gambar 5. Bangunan variasi C

Persamaan untuk menghitung desain perpindahan SDOF adalah Persamaan 3.

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (3)$$

dimana Δ_d merupakan perpindahan desain SDOF (m), m_i merupakan massa tingkat ke- i (ton), Δ_i merupakan perpindahan lantai ke- i (m).

Massa efektif dapat dihitung dengan Persamaan 4.

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \quad (4)$$

dimana M_e adalah massa efektif bangunan (ton/g)

Tinggi efektif struktur dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i H_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (5)$$

dimana H_e adalah tinggi efektif struktur (m)

Nilai redaman *viscous* ekuivalen untuk sistem SDOF dihitung dengan Persamaan 6.

$$\xi F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu - 1}{\mu \cdot \pi} \right) \quad (6)$$

Daktilitas perpindahan ditentukan dengan karakteristik perpindahan leleh system, dan dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad (7)$$

dimana ξF adalah redaman viscous ekuivalen, μ adalah daktilitas perpindahan, dan Δ_y adalah perpindahan leleh SDOF

Menghitung periode efektif dan kekakuan efektif

Nilai *spectra displacement spectra displacement* pada tingkat redaman *viscous* ekuivalen dihitung dengan persamaan 8 dan 9.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (8)$$

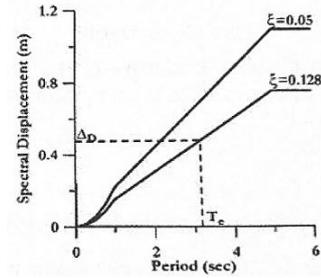
$$R_\xi = \left(\frac{0,07}{0,02 + \xi} \right)^{1/2} \quad (9)$$

dimana S_d adalah spektra perpindahan (m), T adalah periode getar fundamental (detik), S_a adalah spektra percepatan (g), R_ξ adalah faktor koreksi *spectra displacement* pada tingkat redaman dan ξ adalah redaman.

Dengan nilai tersebut, pada grafik *spectra displacement* ditarik nilai perpindahan rencana sehingga nilai periode efektif sistem dapat diketahui seperti pada Gambar 6 (Priestley *et al.*, 2007), dan dengan didapatnya periode efektif, maka kekakuan efektif dapat dihitung dengan Persamaan 10.

$$K_e = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m_e}{T_e^2} \quad (10)$$

dimana K_e adalah kekakuan efektif, T_e adalah periode efektif



Gambar 6. *Spectra displacement*

Menghitung gaya geser dasar dan distribusi gaya gempa tiap lantai.

Gaya geser dasar dihitung dengan Persamaan 11.

$$V_{base} = K_e \times \Delta_d \quad (11)$$

dimana V_{base} adalah gaya geser dasar gempa, (kN), K_e adalah kekakuan efektif, (kN/m) dan Δ_d adalah profil perpindahan desain rencana *SDOF* (m).

Gaya geser dasar tersebut kemudian didistribusikan pada masing-masing lantai dan dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$F_i = \frac{F_t + 0,9 V_{base} (m_i \Delta_i)}{\sum m_i \Delta_i} \quad (12)$$

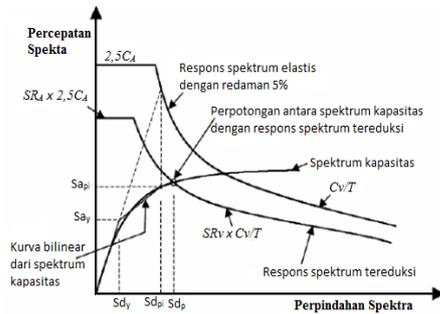
dimana V_{base} adalah gaya geser dasar desain (kN), Δ_i adalah perpindahan lantai ke - i (m), Δ_d adalah perpindahan rencana (m), F_i adalah distribusi gaya geser tiap lantai (kN), F_t adalah $0.1V_{base}$ untuk lantai atap dan 0 untuk lantai selain lantai atap.

Capacity spectrum method (CSM)

Capacity spectrum method adalah metode yang menentukan tingkat kinerja (*performance level*) yang diharapkan setelah struktur dilanda gempa dengan intensitas tertentu dan dari output-nya dapat diperoleh parameter titik kinerja struktur dari bangunan tersebut (Pranata, 2006). Pada ATC-40 digunakan metode spektrum kapasitas untuk memplotkan *demand* spektra dan kurva kapasitas sehingga didapat titik perpotongan yang disebut sebagai menentukan titik kinerja atau *performance point* seperti pada Gambar 7 (*Applied Technology Council*, 1996).

Analisis *pushover* atau disebut juga analisis beban dorong statis diperlukan untuk menentukan pola keruntuhan yang terjadi pada gedung (Verma, 2018). Hasil dari analisis *pushover* adalah gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan (*displacement*). Analisis ini dapat dilakukan untuk menentukan level kinerja struktur berdasarkan *performance point* yang didapat dari perpotongan

antara kurva *spectrum capacity* dan *reduce demand* (Kadariusman *et al.*, 2012). Metode ini dilakukan dengan memberikan beban lateral dorong pada struktur yang dinaikkan secara bertahap. Selama peningkatan pembebanan akan terjadi pelepasan (sendi plastis) pertama yang terjadi pada struktur (Elnashai, 2001).



Gambar 7. Performance point pada capacity spectrum method

Hasil dan Pembahasan

Gaya geser dasar gempa

Dari hasil perhitungan beban gempa menggunakan metode DDBD diperoleh gaya geser dasar gempa dari masing – masing variasi dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Gaya geser dasar

Arah	Gaya Geser Dasar Gempa (kN)		
	Variasi A	Variasi B	Variasi C
X	6804,535	8452,328	7772,516
Y	6804,535	8452,328	7772,516

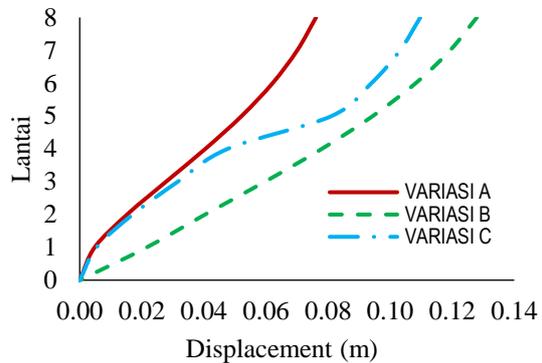
Gaya geser dasar gempa arah X dan Y pada Variasi B lebih besar 24.22% dari Variasi A. Gaya geser dasar gempa arah X dan Y pada Variasi C lebih besar 14.23% dari Variasi A. Perbedaan ini terjadi karena pada metode DDBD, nilai gaya geser dipengaruhi oleh nilai perpindahan. Jadi, semakin besar nilai perpindahan maka semakin besar pula nilai gaya geser dasar gempa.

Perpindahan (*displacement*)

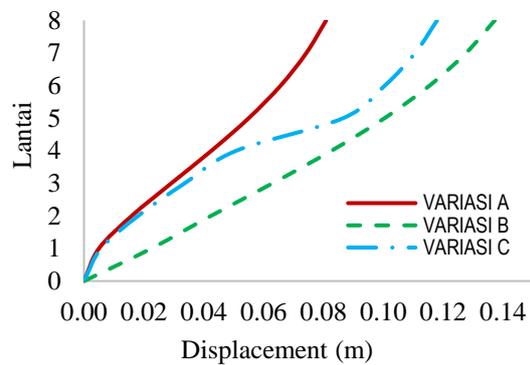
Dari hasil perhitungan desain gempa, didapatkan nilai perpindahan rencana untuk arah X dan Y yang terjadi pada masing – masing bangunan disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Nilai perpindahan terbesar terjadi pada bangunan Variasi B yang memiliki kekakuan tingkat lunak pada lantai 1 dan nilai perpindahan terkecil terjadi pada bangunan Variasi A.

Pada metode DDBD nilai perpindahan dipengaruhi oleh tinggi bangunan. Tinggi bangunan pada Variasi B dan C lebih tinggi dibandingkan pada

Variasi A, karena bangunan Variasi B dan C memiliki *soft story*. Oleh karena itu, berdasarkan perhitungan menggunakan metode DDBD semakin tinggi suatu bangunan maka semakin besar nilai perpindahan yang terjadi.



Gambar 8. Nilai perpindahan arah x

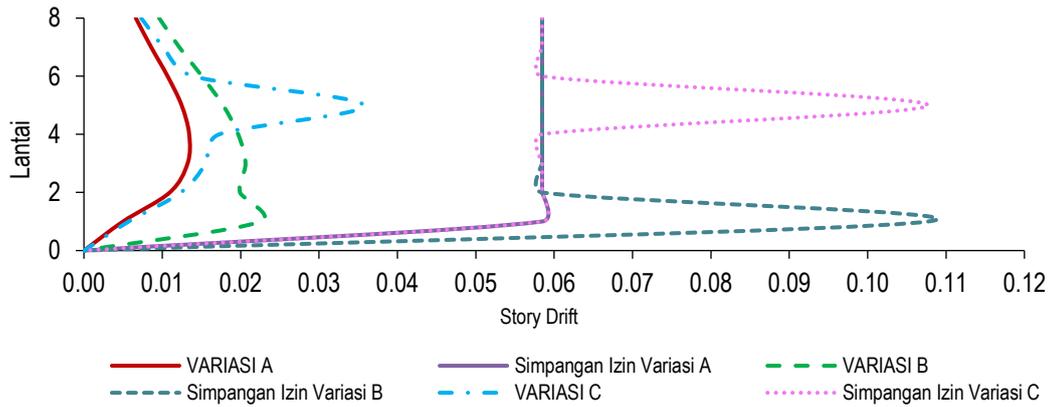


Gambar 9. Nilai perpindahan arah y

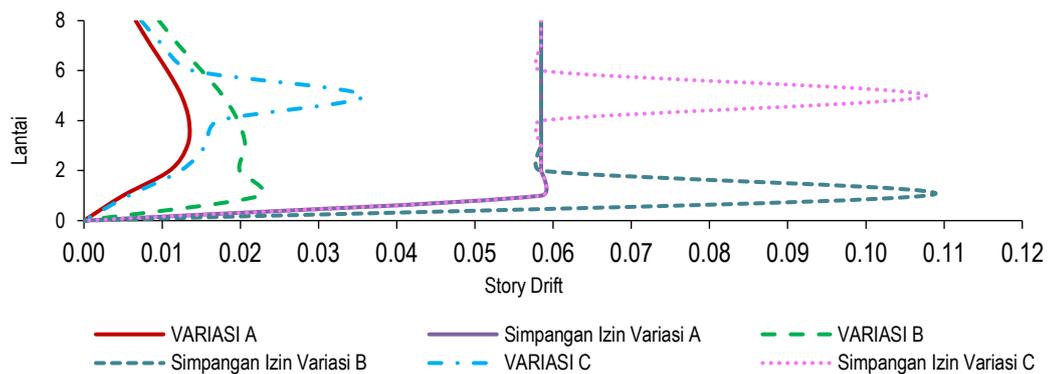
Simpangan antar lantai

Dari hasil perhitungan desain gempa, didapatkan nilai simpangan antar lantai untuk arah X dan Y yang terjadi pada masing–masing bangunan disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Nilai simpangan antar lantai pada Variasi B dan C jika dibandingkan dengan bangunan Variasi A yaitu, pada bangunan Variasi B, terjadi simpangan antar lantai yang signifikan di lantai 1 karena terdapat kekakuan tingkat lunak (*soft story*).

Pada bangunan Variasi C, terjadi simpangan antar lantai yang signifikan di lantai 5 karena terdapat kekakuan tingkat lunak (*soft story*). simpangan antar lantai pada bangunan yang memiliki kekakuan tingkat lunak (*soft story*) lebih besar dibandingkan simpangan antar lantai pada bangunan beraturan. Kekakuan struktur mempengaruhi besarnya nilai simpangan antar lantai (*story drift*), semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku (Baehaki *et al.*, 2018). Walaupun demikian, ketiga model bangunan tersebut masih memenuhi syarat simpangan antar lantai izin.



Gambar 10. Hasil nilai simpangan antar lantai arah x



Gambar 11. Hasil nilai simpangan antar lantai arah y

Mekanisme sendi plastis

Dari hasil *running pushover*, didapatkan *step* pola beban dorong untuk mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis sebagai berikut:

Variasi A

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada bangunan Variasi A berdasarkan hasil *running pushover* disajikan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Pembentukan sendi plastis arah X pertama kali terjadi di balok pada Step ke-3. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-6. Pembentukan sendi plastis arah Y pertama kali terjadi di balok pada Step ke-4. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-6. Berdasarkan hasil analisis pushover, mekanisme sendi plastis pada bangunan Variasi B arah X dan Y sesuai dengan konsep *strength column weak beam*, dimana keruntuhan yang terjadi diawali oleh keruntuhan pada balok. Mekanisme keruntuhan seperti ini yang diharapkan terjadi pada struktur pada saat terjadi gempa.

Variasi B

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada bangunan Variasi B berdasarkan hasil *running pushover*

disajikan pada Gambar 14 dan Gambar 15. Pembentukan sendi plastis arah X pertama kali terjadi di balok pada Step ke-2. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-4. Pembentukan sendi plastis arah Y pertama kali terjadi di balok pada Step ke-3. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-4. Berdasarkan hasil analisis pushover, mekanisme sendi plastis pada bangunan Variasi B arah X dan Y sesuai dengan konsep *strength column weak beam*, dimana keruntuhan yang terjadi diawali oleh keruntuhan pada balok. Mekanisme keruntuhan seperti ini yang diharapkan terjadi pada struktur pada saat terjadi gempa.

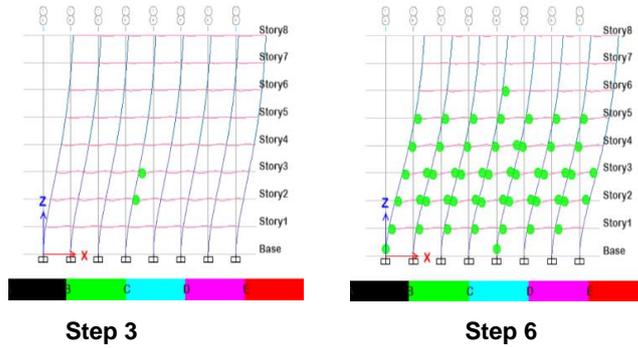
Variasi C

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada bangunan Variasi B berdasarkan hasil *running pushover* disajikan pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pembentukan sendi plastis arah X pertama kali terjadi di balok pada Step ke-3. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-5. Pembentukan sendi plastis arah Y pertama kali terjadi di balok pada Step ke-3. Pembentukan sendi plastis terjadi pada kolom lantai 1 pada Step ke-4. Berdasarkan hasil analisis pushover, mekanisme sendi plastis pada bangunan Variasi C arah X dan Y sesuai dengan konsep *strength column weak beam*.

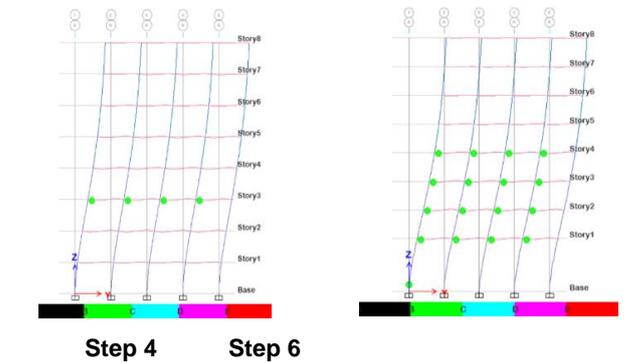
Level kinerja struktur

Metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dari struktur pada penelitian ini yaitu menggunakan metode spektrum kapasitas atau ATC-40. Level kinerja untuk masing-masing model

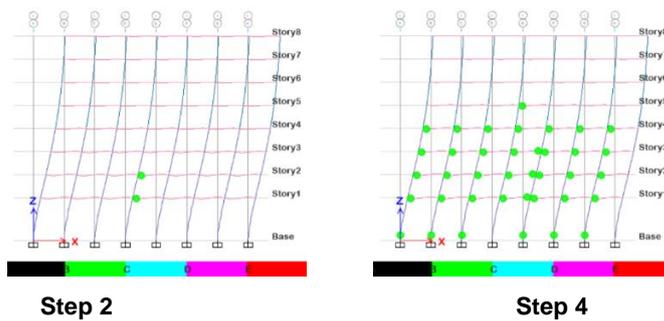
bangunan menurut Applied Technology Council (1996), berada pada kategori *damage control* yang berarti bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, sehingga risiko terjadinya korban jiwa sangat kecil.



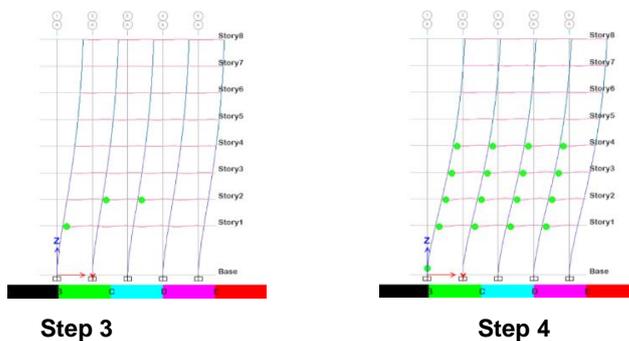
Gambar 12. Mekanisme sendi plastis arah x variasi A



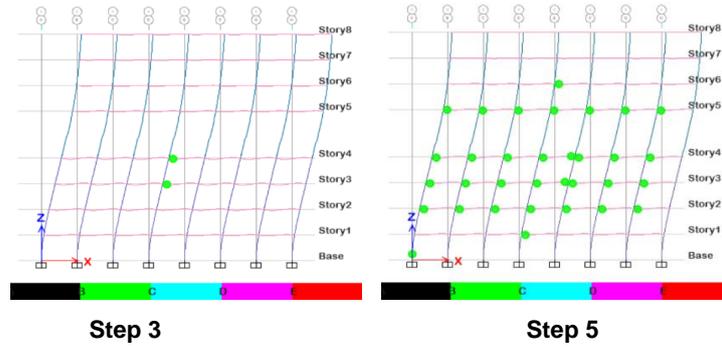
Gambar 13. Mekanisme sendi plastis arah y variasi A



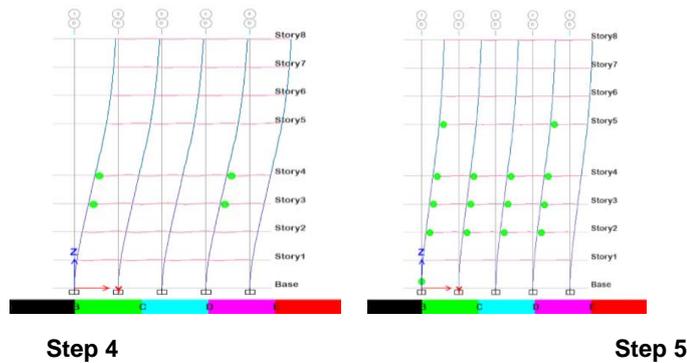
Gambar 2. Mekanisme sendi plastis arah x variasi B



Gambar 15. Mekanisme sendi plastis arah y variasi B



Gambar 3. Mekanisme sendi plastis arah x variasi C



Gambar 17. Mekanisme sendi plastis arah y variasi C

Tabel 2. Hasil level kinerja struktur menurut ATC-40

Bangunan	Arah	Parameter	Sebelum <i>pushover</i>	ATC-40 (CSM)
Variasi A	X	Target perpindahan Δm (m)	0,3406	0,3138
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0103
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>
	Y	Target perpindahan Δm (m)	0,341	0,326
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0107
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>
Variasi B	X	Target perpindahan Δm (m)	0,386	0,364
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0108
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>
	Y	Target perpindahan Δm (m)	0,386	0,379
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0113
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>
Variasi C	X	Target perpindahan Δm (m)	0,379	0,376
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0112
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>
	Y	Target perpindahan Δm (m)	0,379	0,384
		<i>Drift</i> aktual ($\Delta m/T_{tot}$)	-	0,0114
		Level Kinerja	<i>Life safety</i>	<i>Damage control</i>

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa nilai gaya geser pada bangunan dengan Variasi B lebih besar 24,22% dibandingkan bangunan Variasi A. Sedangkan gaya geser pada bangunan Variasi C lebih besar 14,23% dari bangunan Variasi A. Nilai perpindahan dan simpangan pada bangunan yang memiliki kekakuan

tingkat lunak lebih besar dibandingkan dengan bangunan yang beraturan. Mekanisme sendi plastis pada bangunan Variasi A, B, dan C sesuai dengan konsep desain *strength column weak beam* karena leleh pertama terjadi pada balok. Bangunan yang mengalami keruntuhan lebih cepat yaitu Variasi B karena terdapat *soft story* di lantai 1. Level kinerja pada Variasi A, B dan C menggunakan metode *Capacity Spectrum Method* (ATC-40) berada pada

level kinerja *Damage Control* yang berarti berarti bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, sehingga risiko terjadinya korban jiwa sangat kecil. Bangunan dengan ketidakberaturan kekakuan pada Variasi B dan C jika dibandingkan dengan bangunan beraturan pada Variasi A, yang lebih baik dalam menahan beban gempa yaitu bangunan Variasi C.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Jakarta yang telah membantu dalam hal pendanaan sehingga penelitian tugas akhir dapat dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- Applied Technology Council. (1996). ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California. In *Seismic safety commissionsion* (Vol. 1, Issue November 1996).
- Asisi, F., Willyanto, K., & Muljati, I. (2015). Perbandingan Kinerja Bangunan Yang Didesain Dengan Force-Based Design Dan Direct Displacement-Based Design Menggunakan Sni Gempa 2012. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 4(1), 1–8.
- Badan Standar Nasional. (2013). Standar Nasional Indonesia 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. 196. www.bsn.go.id
- Badan Standar Nasional. (2019a). Standar Nasional Indonesia 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. 8.
- Badan Standar Nasional. (2019b). Standar Nasional Indonesia 2847 : 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan. 8.
- Baehaki, B., Kuncoro, H. B. ., & Kumala, I. C. (2018). Perbandingan Simpangan Horizontal Pada Struktur Kolom (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTIRTA Sindangsari). 7(2), 71–83.
- Elnashai, A. S. (2001). Advanced Inelastic Static (Pushover) Analysis For Earthquake Applications. *Structural Engineering and Mechanics*, 12(1), 51–69.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. (2019). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 201–208.
- Kadariusman, R. A., Smd, A., & Wibowo, A. (2012). Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (Rsud) Kertosono (Study Of Pushover Analysis For Performance Based Design On Kertosono Regional Public Hospital Building A).
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pusaka Pelajar (Anggota IKAPI).
- Pranata, Y. A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang dengan Pushover Analysis. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 41–52.
- Priestley, M. J. ., Calvi, G. ., & Kowalsky, M. . (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. In IUSS Press.
- Purba, R. P., Djauhari, Z., & Suryanita, R. (2016). Kinerja Struktur Gedung Beraturan Dual System (Concrete Frame-Rc Wall Structures) Menggunakan Metode Direct Displacement Based Design Dan Capacity Spectrum Method. *Jom Fteknik*, 3(2), 1.
- Shinde, D., & Sadhana M, P. (2016). Pushover Analysis-To Study Seismic Performances of Vertical Irregular Structure. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(06), 345–348.
- Siajaya, K., Windah, R. S., Handono, B. D., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., Manado, R., & Belakang, L. (2018). Respons Struktur Gedung Bertingkat Dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa. *Journal Sipil Statik*, 6(6), 411–422.
- Siswanto, A. B., & Salim, M. A. (2018). Kriteria Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(0).
- Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. Penerbit Andi.
- Verma, V. (2018). Seismic Analysis And Comparison Of Vertical Irregular Building Cases Using Response Spectrum. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 7(8), 28–35.