

Kinerja Struktur Bangunan Dengan *Floating Columns* Terhadap Beban Gempa

Ferdin Satria Anggriawan¹, Anis Rosyidah²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, 16424

E-mail: anisrosyidah@sipil.pnj.ac.id

ABSTRAK

Konstruksi gedung bertingkat di daerah perkotaan diharuskan memiliki ruang bebas kolom karena kekurangan ruang dan juga untuk kebutuhan fungsional. Bangunan tipe *floating columns* termasuk bangunan *irregular* karena memiliki letak kolom yang tidak menerus sehingga pusat massa dan kekakuannya tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horizontal maupun vertikal tidak terdistribusi secara merata. Sehingga akibat yang ditimbulkan adalah perubahan eksentrisitas lantai. Metode penelitian yang digunakan adalah metode *pushover analysis* untuk mendapatkan nilai *displacement* dan level kinerja struktur pada bangunan *floating columns*. Tahapan analisis mengacu pada SNI1726:2012, SNI1727:2013 dan SNI 2847:2013. Hasil penelitian menunjukkan nilai *displacement* pada bangunan dengan *floating columns* 3% terbesar adalah 0,7813 m dan pada *floating columns* 1% sebesar 0,4667 m. Berdasarkan nilai *performance point* pada metode *pushover analysis* didapatkan bahwa pada model *floating columns* rasio 3% berada pada kategori *damage control*, sedangkan pada model *floating columns* 1% berada pada kategori *immediate occupancy*. Hal itu berarti level kinerja belum mencapai target kinerja desain yaitu *life safety* tetapi sudah mendekati nilai kerja desain dengan level kinerja yang lebih baik.

Kata Kunci : Tingkat kinerja struktur, *floating columns*, analisis *pushover*.

ABSTRACT

Multi-story buildings in urban cities are required to have a column-free space due to a shortage of space and also for functional requirements. Building types of floating columns are irregular because they have columns that are not aligned so that the center of mass and stiffness do not coincide vertically. Weight and stiffness in both horizontal and vertical directions not evenly distributed. The research method used is the pushover analysis method to obtain the value of displacement and the level of structural performance in floating columns buildings. Step of analysis refers to SNI1726: 2012, SNI1727: 2013, and SNI 2847: 2013. The results showed the value of displacement in buildings with the most significant 3% floating columns was 0.7813 m, and at 1% floating columns was 0.4667 m. Based on the performance point value in the pushover analysis method, it found that in the floating columns model, the ratio of 3% is in the category of damage control, while in the 1% floating columns model is in the type of immediate occupancy. It means that the performance level has not yet reached the design performance target, which is life safety but is approaching the value of design work with a better level of performance.

Keywords: Level of performance; *floating columns*; *pushover analysis*

1. PENDAHULUAN

Sekarang ini sudah banyak dibuat bangunan-bangunan bertingkat tinggi dengan model struktur yang rumit dan arsitektur yang unik. Tentu saja untuk mendesain dan membuat struktur bangunan seperti itu tidaklah mudah, salah satu tipe bangunan yang bisa digunakan adalah bangunan dengan tipe *floating columns* (kolom menerus) [1].

Bangunan model *floating columns* termasuk bangunan *irregular* karena pusat massa dan kekakuan tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horizontal maupun vertikal tidak terdistribusi secara merata. Masalah akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan dari kekakuan yang besar pada bagian bawah kekakuan yang relatif kecil. Salah satu metode yang digunakan untuk analisis bangunan-bangunan bentuk khusus dengan analisis *pushover* [2].

Analisis *pushover* (ATC 40) merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk mendapatkan perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gempa, dengan cara memberikan pola beban statik yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau sampai bangunan tersebut mengalami keruntuhan. Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa bumi [3]. Hasil akhir dari analisis ini berupa kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan. Dari kurva kapasitas tersebut dapat diketahui level kinerja dari struktur gedung yang dianalisis [4].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dibahas adalah respons struktur bangunan dengan *floating columns* terhadap beban gempa. Hasil studi ini untuk mendapatkan nilai *displacement* dan level kinerja struktur bangunan dengan *floating columns* berdasarkan ATC-40 menggunakan analisis *pushover*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Floating Columns*

Istilah kolom menerus merupakan kolom yang memiliki keunikan tersendiri karena posisi dari kolom yang tidak sejajar dengan kolom dibawahnya. Kolom tersebut hanya bertumpu pada balok struktur yang merupakan komponen horizontal di bawahnya. Balok pada gilirannya mentransfer beban ke kolom lain di bawahnya [5]. Ada banyak proyek konstruksi yang menggunakan model *floating columns* ini. Bangunan model ini biasanya memerlukan ruangan yang cukup luas sehingga beberapa kolom yang seharusnya ada dihilangkan[6].

2.2 *Pushover Analysis*

Pushover Analysis merupakan suatu metode analisis statik nonlinier dengan menempatkan beban pada pusat massa masing-masing lantai. Besarnya beban ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui batasnya yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis atau runtuh [7]. *Pushover analysis* ini bertujuan mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu menghasilkan kurva kapasitas yang menggambarkan antara gaya geser dan perpindahan pada bagian teratas struktur dan juga memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi [8].

2.3 Kinerja Struktur

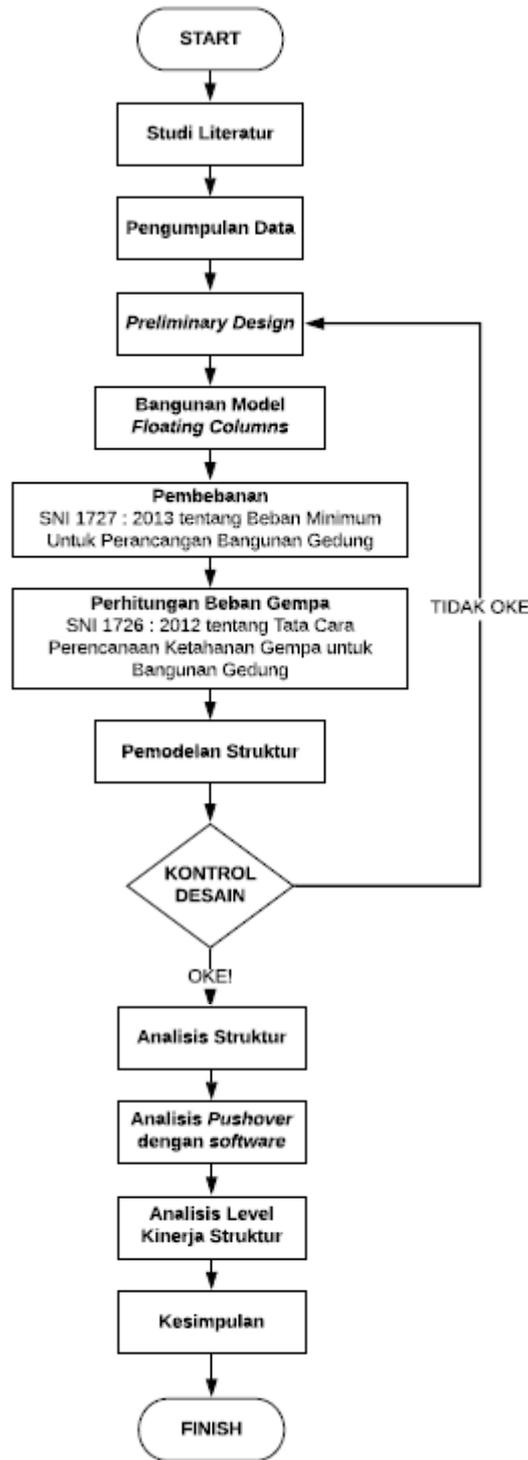
Capacity Spectrum (ATC-40)

Capacity spectrum ialah 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 [9]. Konsep desain kinerja struktur metode *capacity spectrum* pada dasarnya merupakan prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan peralihan aktual struktur gedung. Peralihan aktual yang didapatkan dari hasil ini menunjukkan besar simpangan struktur. Perbandingan antara simpangan struktur terhadap tinggi total struktur menunjukkan kinerja struktur. Menurut ATC-40, kinerja bangunan terhadap beban gempa dapat dibagi menjadi 6 kategori level struktur, yaitu [10], [11]:

1. *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi di mana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
2. *Damage Control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
3. *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadang kala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
4. *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level *life safety* dan tidak seburuk *level structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
5. *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas di mana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan non struktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
6. *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

3. METODE PENELITIAN

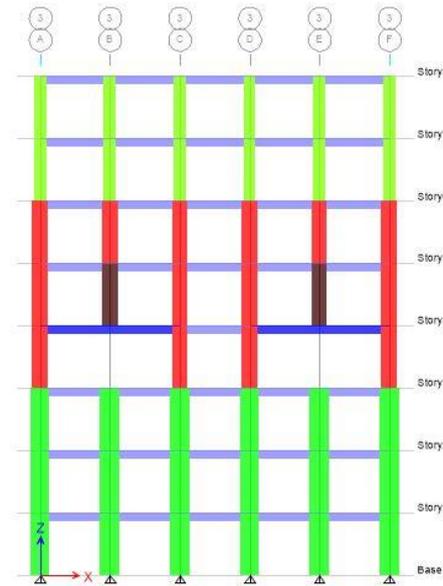
Penelitian ini berupa studi perancangan gedung model *floating columns*, untuk menentukan nilai *displacement* dan level kinerja struktur. Diagram alir kajian ini dapat dilihat pada gambar 1, berikut [12], [13], [14]:



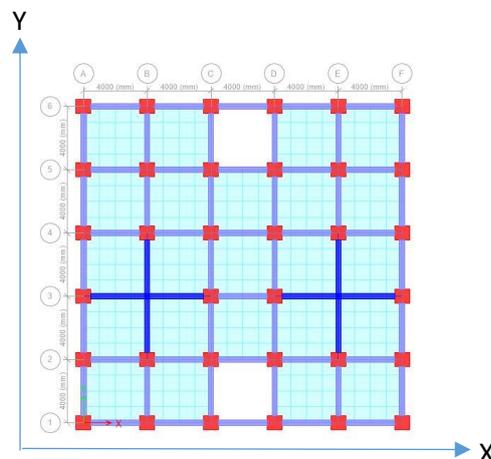
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Data Perencanaan

Obyek dalam studi berupa bangunan model *floating columns (FC)* dengan luas 400 m² dan tinggi 28,8 m (8 lantai). Denah gedung dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 2. Tampak Samping *Floating Columns (FC)*



Gambar 3. Tampak Atas *Story 4 Floating Columns (FC)*

Adapun data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Fungsi Bangunan : Perkantoran
2. Jenis Struktur : Beton Bertulang
3. Sistem Struktur : SRPMK
4. Jenis Tanah : Tanah Sedang
5. Lokasi Bangunan : Depok, Jawa Barat
6. Mutu Beton : 35 MPa
7. Mutu Baja : 400 MPa
8. Dimensi Struktur :
 - Pelat Lantai : 150 mm
 - Pelat Atap : 150 mm
 - Balok :
 - Balok Struktur : 500x350 mm
 - Balok Transfer : 500x350 mm
 - Kolom :
 - Lantai 1-3 : 1100x1100 mm
 - Lantai 4-6 : 900x900 mm
 - Lantai 7-8 : 700x700 mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Displacement

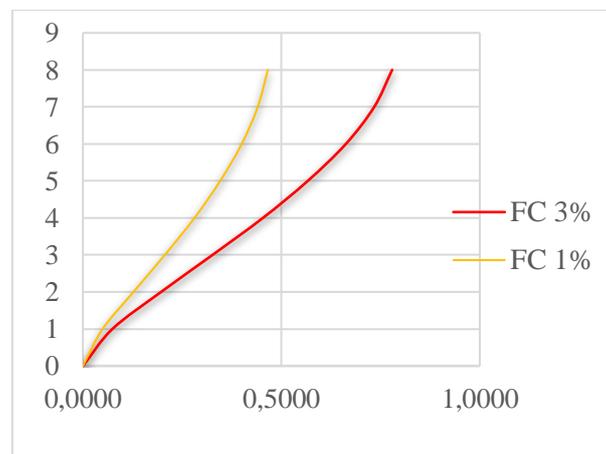
Besarnya *displacement* pada bangunan dengan *floating columns* disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. *Displacement* FC 3%

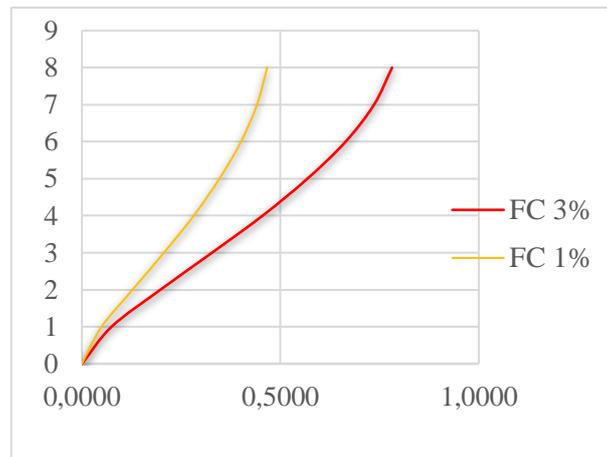
Lantai	Tinggi m	Lantai	FC 3%	
			Arah X m	Arah Y m
Story8	28,8	8	0,7791	0,7813
Story7	25,2	7	0,7339	0,7359
Story6	21,6	6	0,6625	0,6643
Story5	18	5	0,5664	0,5680
Story4	14,4	4	0,4535	0,4550
Story3	10,8	3	0,3265	0,3276
Story2	7,2	2	0,1969	0,1977
Story1	3,6	1	0,0743	0,0746
Base	0	0	0	0

Tabel 2. *Displacement* FC 1%

Lantai	Tinggi m	Lantai	FC 1%	
			Arah X m	Arah Y m
Story8	28,8	8	0,4660	0,4667
Story7	25,2	7	0,4404	0,4411
Story6	21,6	6	0,4001	0,4007
Story5	18	5	0,3458	0,3463
Story4	14,4	4	0,2811	0,2815
Story3	10,8	3	0,2063	0,2066
Story2	7,2	2	0,1273	0,1274
Story1	3,6	1	0,0494	0,0495
Base	0	0	0	0



Gambar 4. *Displacement* arah X



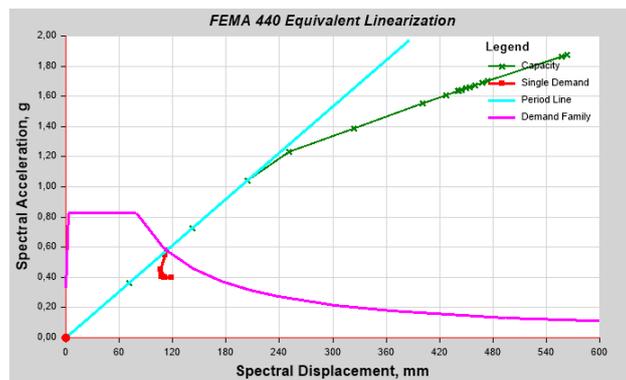
Gambar 5. Displacement arah Y

Dari data Tabel 1 dan 2 serta Gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa nilai *displacement* FC 1% lebih kecil dibandingkan dengan FC 3%. Namun nilai tersebut masih memenuhi persyaratan minimum pada Tabel 16 SNI 1726:2012 pasal 7.12.1 yang mana tidak melebihi simpangan antar lantai ijin yaitu sebesar 0,012 *hsx*.

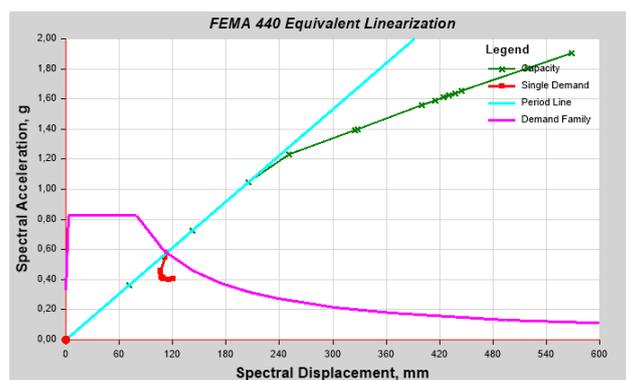
4.2 Analisis Pushover

a. Level Kinerja Metode Displacement Coefficient (FEMA 440)

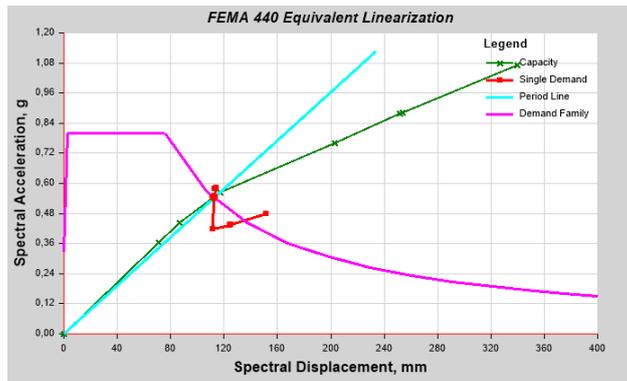
Metode FEMA 440 sudah *built in* pada *software* analisis struktur. Hasil evaluasi kinerja sesuai FEMA 356 dengan metode *displacement coefficient*, secara lengkap ditampilkan dalam Gambar 6 – Gambar 9, sebagai berikut:



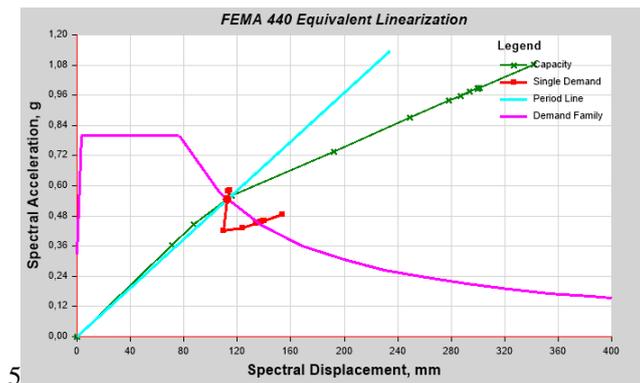
Gambar 6. Spektrum Kapasitas FC 3% arah x



Gambar 7. Spektrum Kapasitas FC3% arah y



Gambar 8. Spektrum Kapasitas FC 1% arah x



Gambar 9. Spektrum Kapasitas FC 1% arah y

Dari grafik spektrum kapasitas pada Gambar 6 sampai Gambar 9 didapatkan nilai *performance point* berdasarkan *FEMA 440*, yang digunakan untuk menentukan level kinerja struktur pada masing-masing model bangunan yang akan disajikan pada Tabel 3.

b. Level Kinerja Metode *Capacity Spectrum (ATC – 40)*

Metode ini dapat secara langsung diaplikasikan pada *software*, *input* yang diperlukan adalah dari kurva respons spektrum rencana SNI 1726:2012 untuk wilayah Kota Depok, Jawa Barat yaitu $C_a = 0,3328$ dan $C_v = 0,505$. Hasil evaluasi kinerja masing-masing tipe bangunan gedung ditampilkan dalam Tabel 3

Tabel 3. Level Kinerja berdasarkan ATC-40

Level Kinerja	Parameter	FC 3%	FC 1%
Arah - X	Target Perpindahan	0,456	0,584
	<i>Drift</i> aktual	0,016	0,01
	Level Kinerja	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Arah - Y	Target Perpindahan	0,306	0,340
	<i>Drift</i> aktual	0,016	0,01
	Level Kinerja	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Nilai dari target peralihan yang ditampilkan pada Tabel 3, pada bangunan FC 1% untuk arah x dan y berada di *range* 0,01 – 0,02 sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan batas simpangan yang disyaratkan oleh ATC-40 level kinerja gedung pada saat target perpindahan tercapai adalah *damage control*. Kinerja struktur dengan level *damage control* merupakan transisi antara *immediate occupancy* dan *life safety*, di mana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Sementara pada bangunan FC 3% untuk arah x dan y berada di $range \leq 0,01$ sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan batas simpangan yang disyaratkan oleh ATC-40 level kinerja gedung pada saat target perpindahan tercapai adalah *immediate occupancy*. Kinerja struktur kategori *immediate occupancy*, berarti bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain (1) Nilai *displacement* maksimum dengan menggunakan analisis *pushover* arah x dan arah y pada bangunan dengan *floating columns* 3% sebesar 0,7359 m dan bangunan dengan *floating columns* 1% sebesar 0,4667. (2) Level Kinerja Struktur pada bangunan dengan *floating columns* 3% berada pada kategori *damage control* sehingga bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa manusia sangat kecil, sedangkan pada bangunan dengan *floating columns* 1% berada pada kategori *immediate occupancy* sehingga bangunan tersebut masih aman saat terjadi gempa bumi dan risiko korban jiwa atau kegagalan struktur tidak terlalu berarti. Hal itu berarti level kinerja pada *floating columns* 3% dan 1% belum mencapai target kinerja desain yaitu *life safety* tetapi mendekati nilai kinerja desain dengan level kinerja yang lebih baik..

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Jakarta yang telah menyediakan program Bantuan Tugas Akhir Mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Tondi and F. Hidayat, "Analisa Perbandingan Simpangan Struktur di Zona Gempa Tinggi," pp. 9–17, 2012.
- [2] A. Shrivastav and A. Patidar, "Seismic Analysis of Multistorey Buildings having Floating Columns," *SSRG Int. J. Civ. Eng. (SSRG - IJCE)*, vol. 5, no. 5, pp. 2–7, 2018.
- [3] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover," *Semin. Bid. Kaji.*, p. 28, 2005.
- [4] R. Andhika Kadarusman, A. Smd, and A. Wibowo, "Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono," 2012.
- [5] V. Sharma and S. Dashore, "Static and Dynamic Analysis of Multistorey Buildings Having Floating Columns," *Int. Res. J. Engineering Technol.*, vol. 05, no. 12, pp. 828–832, 2018.
- [6] K. Maitra, "Evaluation of Seismic Performance of Floating Column Building," *Am. J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 2, p. 55, 2018.
- [7] S. Pangemanan and H. G. Mantiri, "Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko," in *Prosiding Simposium II*, 2017, vol. 40, no. September, pp. 978–979.
- [8] F. Hasdanita, M. Afifuddin, and M. Muttaqin, "Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur Dengan Menggunakan Base Isolator," *J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc.*, vol. 1, no. 1, pp. 169–178, 2018.
- [9] Y. A. Pranata, "Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang dengan Pushover Analysis," vol. 3, no. 1, pp. 41–52, 2016.
- [10] Applied Technology Council, "ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings." California, p. 334, 1996.
- [11] H. L. Purba, "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakteraturan Horizontal," vol. 2, no. 4, 2014.
- [12] SNI 1726:2012, "SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," vol. 15, no. 3, pp. 316–325, 2003.
- [13] SNI 03-2847, "SNI-03-2847-2013 Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," *Bandung Badan Stand. Indones.*, 2013.
- [14] SNI-1727-2013, "SNI-1727-2013 Perencanaan-Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung," 2013.