
Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Bentang Kantilever 4 m Menggunakan Metode Analisis *Pushover*

Retno Trimurtiningrum¹

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Faradlillah Saves²

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Laily Endah Fatmawati³

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Yusak Adi Setiawan

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

E-mail: retnotrimurti@untag-sby.ac.id

Abstrak

Kemajuan teknologi dan desain di bidang konstruksi semakin berkembang. Hal tersebut, membuat beragamnya variasi desain struktur yang semakin hari semakin unik. Bentuk-bentuk gedung dengan kantilever tampaknya semakin diminati karena dinilai mempunyai arsitektur yang tinggi. Bentuk kantilever yang mempunyai bentang lebih panjang, yaitu lebih dari $1/3 L$ makin diminati karena memberikan tampilan eksterior yang unik, serta dapat berfungsi ganda selain sebagai ruangan juga dapat difungsikan sebagai kanopi. Gedung yang didesain merupakan gedung 7 lantai dengan balok kantilever pada lantai 6 dan 7 sepanjang 4 m. Penelitian ini menggunakan acuan SNI 03-2847-2013 dalam mendesain elemen struktur utama beton bertulang, SNI 03-1726-2012 untuk perencanaan beban gempa, SNI 03-1727-2013 dan PPIUG 1983 untuk perencanaan beban gravitasi. Dari hasil analisis didapatkan besar simpangan yang terjadi baik arah x maupun arah Y adalah sebesar 50,544 mm dan 39,956 mm, dimana masing-masing memenuhi syarat batas simpangan antar lantai sesuai SNI 03-1726-2012. Level kinerja struktur termasuk level immediate occupancy yang berarti tidak terjadi kerusakan structural dan gedung dapat segera dipakai sesuai dengan fungsinya.

Keywords: level kinerja, analisa pushover, balok kantilever

Abstract

The advance of technology and design in construction field are developing. Therefore, variety of structural design becomes unique. The shape of building with cantilever seems increasingly attractive because it is rated to have high architecture. Cantilever form with a longer span of more than $1/3 L$ is increasingly desirable because it provides a unique exterior appearance, as well as a double function other than as a room can also functioned as a canopy. The building is designed to be a 7-storey building with cantilever beam on the 6th – 7th floor for 4 m. This study used the reference of SNI 03-2847-2013 in designing the main structural elements of reinforced concrete, SNI 03-1726-2012 for the designing the earthquake load, SNI 03-1727-2013 and PPIUG 1983 for gravity load planning. From the results of analysis, the interstory drift that occurs both the X -direction and the direction of Y is 50.544 mm and 39.956 mm, each of which qualifies the interstory drift limit according to SNI 03-1726-2012. Structural performance levels are being categories in immediate occupancy level which means there is no structural damage and the building can be used immediately according to its function.

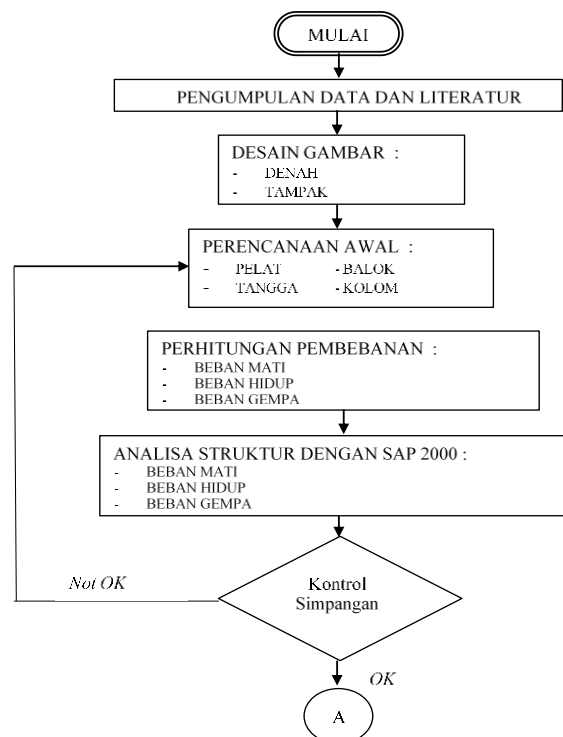
Keywords: performance level, pushover analysis, cantilever beam.

1. PENDAHULUAN

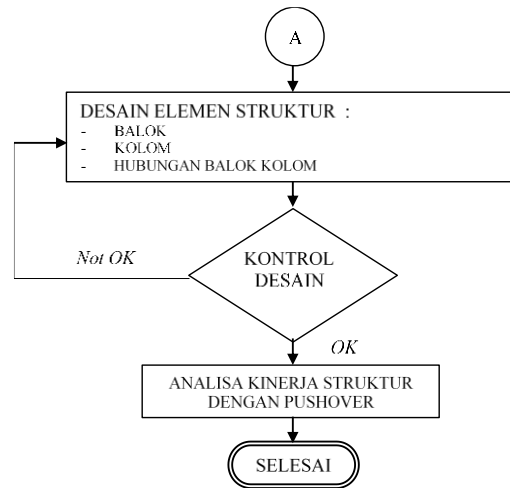
Kemajuan teknologi dan desain dibidang konstruksi semakin berkembang. Hal tersebut, membuat beragamnya variasi desain struktur yang semakin hari semakin unik. Bentuk-bentuk gedung yang tidak beraturan semakin diminati dewasa ini karena mempunyai nilai arsitektur yang tinggi. Bentuk kantilever yang mempunyai bentang lebih panjang, yaitu lebih dari $1/3 L$ juga makin diminati karena memberikan tampilan eksterior yang unik, serta dapat berfungsi ganda selain sebagai ruangan juga dapat difungsikan sebagai kanopi. Dalam mendesain bangunan khususnya di wilayah rawan gempa, kinerja struktur dalam menerima beban gempa sangat penting untuk dianalisis. Hal tersebut untuk mengetahui bagaimanakah respon dan kinerja struktur saat menerima beban gempa rencana. Berdasarkan NEHRP, level kinerja struktur dibagi menjadi level *operational*, *immediate occupancy*, *life safety* dan *collapse prevention* [1]. Untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur dibutuhkan analisis non linier, yaitu analisis non linier pushover maupun analisis non linier time history. Analisis time history dianggap tidak praktis dan kompleks [2], sehingga dalam penelitian ini digunakan analisis non linier pushover atau dikenal dengan analisis beban dorong statik. Analisis yang diteliti dalam penelitian ini adalah simpangan struktur, target perpindahan dan level kinerja struktur saat dibebani dengan beban gempa rencana.

2. METODE PENELITIAN

Alur penelitian dapat dilihat dalam diagram alir penelitian pada gambar 1.

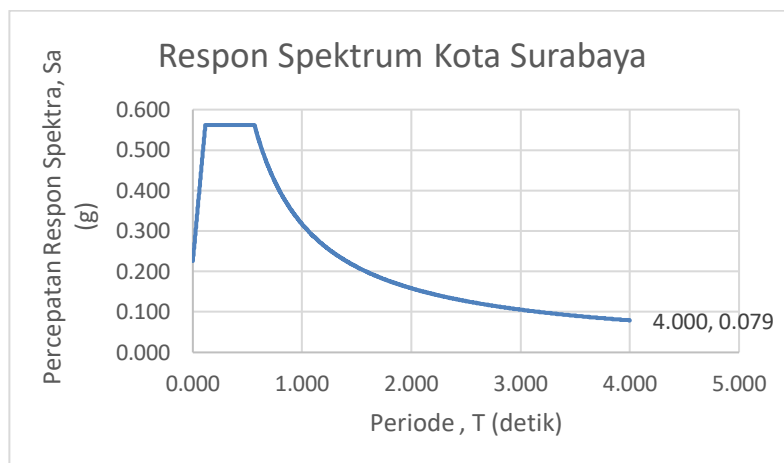


Gambar 1a Diagram Alir Penelitian



Gambar 1b Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

Perhitungan beban gempa menggunakan analisa dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012 [3] dengan asumsi bahwa lokasi gedung terdapat di wilayah Surabaya Barat dengan kondisi tanah sedang. Respon spektrum desain dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Respon Spektrum Desain

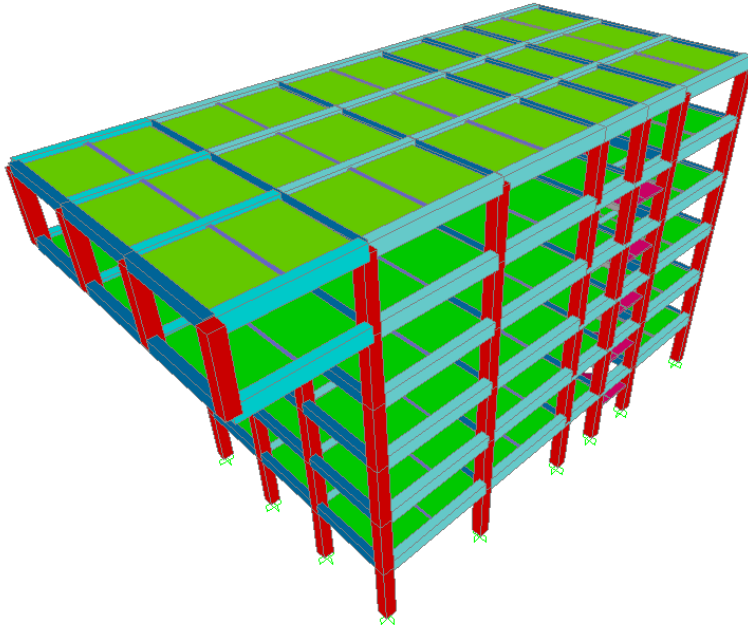
Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 03-1727-2013[4] dan PPIUG 1987 [5]. Untuk desain elemen beton bertulang aturan yang digunakan adalah SNI 03-2847-2013[6] untuk struktur utama balok dan kolom, sedangkan untuk struktur pelat lantai menggunakan peraturan PBI 1971 [7]. Hasil analisis non linier pushover ditinjau berdasarkan peraturan ATC-40.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Bangunan

Panjang kantilever	: 4 m
Panjang denah	: 28 m
Lebar denah	: 15 m
Tinggi bangunan	: 21,6 m
Fungsi bangunan	: Hotel

Kategori Resiko	: II
Lokasi	: Kota Surabaya
Sistem Struktur	: SRPMK
Mutu Beton ($f'c$)	: 35 MPa
Mutu Baja (tulangan utama) (f_y)	: 400 Mpa
Mutu Baja (tulangan Sengkang) (f_{ys})	: 240 MPa



Gambar 3 Permodelan SAP2000

3.2 Perencanaan Elemen Balok, Kolom dan Pelat

- Elemen Balok

Elemen Balok didesain berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1, pasal 10.5 dan pasal 21.5. Rekapitulasi hasil desain masing-masing balok dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi desain elemen struktur balok kantilever, balok memanjang dan balok melintang

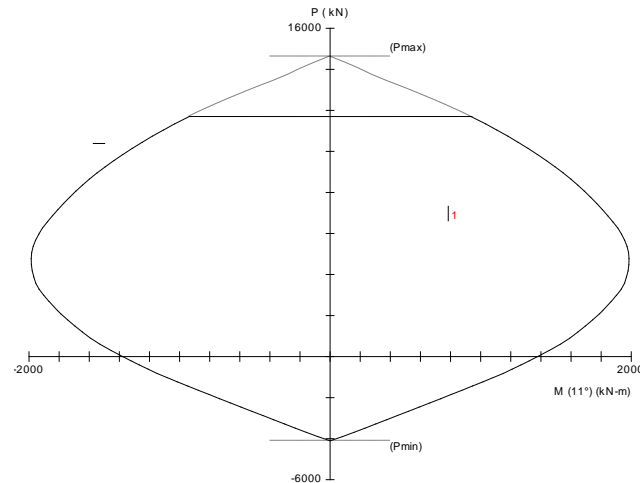
Tipe Balok	Dimensi mm	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Torsi
		Tumpuan Tarik	Tumpuan Tekan	Lapangan Tarik	Lapangan Tekan	Tumpuan	Lapangan	
Balok Memanjang	500 x 750	3D32	3D32	3D32	3D32	3Ø16 - 100	3Ø16 - 150	2D28
Balok Melintang	400 x 600	3D32	3D32	3D32	3D32	3Ø16 - 100	3Ø16 - 150	2D28
Kantilever 4 m	500 x 750	3D32	3D32	-	-	2Ø16 - 150	2Ø16 - 150	-

- Elemen Kolom

Elemen Kolom didesain berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2 dan pasal 21.6 dengan bantuan program PCACOL. Rekapitulasi hasil desain kolom dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi desain elemen struktur kolom

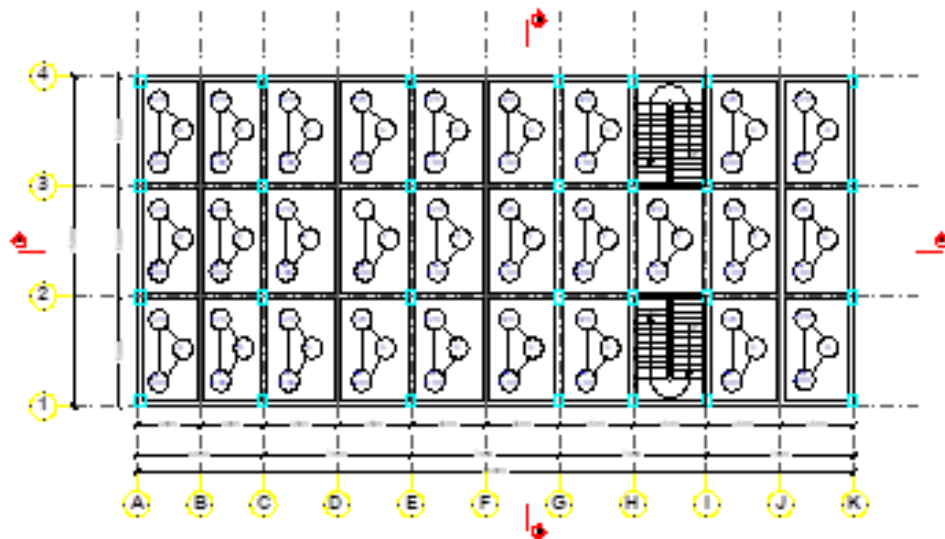
Tipe Kolom	Dimensi mm	Tulangan Lentur	Tulangan geser	
			Sejarak lo	diluar lo
K1	800 x 800	12D35	3Ø16 - 100	3Ø16 - 150



Gambar 3 Diagram Interaksi P – M Kolom K1

- **Elemen Pelat**

Elemen Pelat didesain berdasarkan peraturan PBI 1971 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971) pasal 13.3. Pelat direncanakan dengan ketebalan 12 cm. Denah dan tipe pelat dapat dilihat pada gambar 4. Tabel 3 menjelaskan rekapitulasi hasil desain elemen pelat.



Gambar 4 Denah pelat
Tabel 3 Rekapitulasi desain elemen pelat lantai dan atap

Tipe Pelat	Ly (m)	Lx (m)	Ly/Lx	Tulangan Lapangan		Tulangan Tumpuan	
				Arah – X (mm)	Arah – Y (mm)	Arah – X (mm)	Arah – Y (mm)
A	5	3	1,7	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
B	5	3	1,7	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
C	5	3,5	1,4	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
D	5	3,5	1,4	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
E	5	3	1,7	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
F	5	3,5	1,4	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
G	5	3	1,7	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200

3.3 Kontrol Modal Partisipasi Massa

SNI 03-1726-2013 mensyaratkan pada pasal 7.9.1 untuk melakukan analisis dalam menentukan modal atau *mode* atau ragam getar alami struktur. Analisis harus mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimum 90 persen dari massa aktual baik dalam arah X maupun arah Y. Tabel 4 menunjukkan hasil analisis partisipasi modal massa untuk struktur dengan bentang kantilever 4 m yang didapatkan dari software SAP2000.

Tabel 4 Partisipasi modal massa bentang kantilever 4 m

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0	0,329	0
MODAL	Mode	2	0,819	0,329	0,00001699
MODAL	Mode	3	0,819	0,809	0,00001699
MODAL	Mode	4	0,819	0,861	0,00001699
MODAL	Mode	5	0,922	0,861	0,002149
MODAL	Mode	6	0,922	0,923	0,002149

Dari hasil analisa SAP 2000, ragam respons struktur mencapai persyaratan lebih dari 90% untuk kedua arah X dan Y pada mode ke 6, sehingga sudah memenuhi SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1.

3.4 Kontrol Simpangan

Kontrol simpangan antar lantai bangunan ditinjau dalam arah X dan arah Y. Perhitungan dan kontrol simpangan antar lantai diatur dalam SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.6, pasal 7.9.3 dan pasal 7.12.1.

Mengacu pada SNI 1726 – 2012 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).

$$\Delta_x = \frac{(\delta_{xe} - \delta_{(x-1)e})C_d}{I_e} \leq \Delta_a$$

nilai faktor Cd dan Ie bisa dilihat di SNI 1726 – 2012 Tabel 2 dan 9, yaitu Cd = 5,5 (untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus) dan Ie = 1 (untuk kategori resiko II).

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) yang diatur dalam SNI 03-1726-2012 tabel 16. Untuk kategori struktur lainnya bernilai $0,020 h_{sx}$, dengan h_{sx} adalah tinggi tingkat (mm).

Sedangkan struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F maka batas simpangan antar lantai tidak boleh melebihi (Δ_a / ρ), dengan faktor rebundansi (ρ) = 1,3 seperti yang disyaratkan SNI 1726 – 2012 pasal 7.3.4.2. Rekapitulasi perhitungan kontrol simpangan untuk arah X dan Y dapat dilihat pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah X

Lantai	Elevasi	Tinggi Antar Lantai (h_{sx})	δx_e	δx	Δx	$\Delta a / \rho$	Cek
			Output SAP	$\delta x_e \cdot Cd / Ie$	$(\delta x_{e_i} - \delta x_{e_{(i-1)}}) \cdot Cd / Ie$	$0,020 \cdot h_{sx} / \rho$	
			mm	mm	mm	mm	
Atap	21,6	3,6	51,502	283,261	45,903	55,385	OK
5	18	3,6	43,156	237,358	43,208	55,385	OK
4	14,4	3,6	35,300	194,150	48,325	55,385	OK
3	10,8	3,6	26,514	145,825	46,014	55,385	OK
2	7,2	3,6	18,148	99,811	49,268	55,385	OK
1	3,6	3,6	9,190	50,544	50,544	55,385	OK

Tabel 6 Kontrol simpangan antar lantai pada gempa arah Y

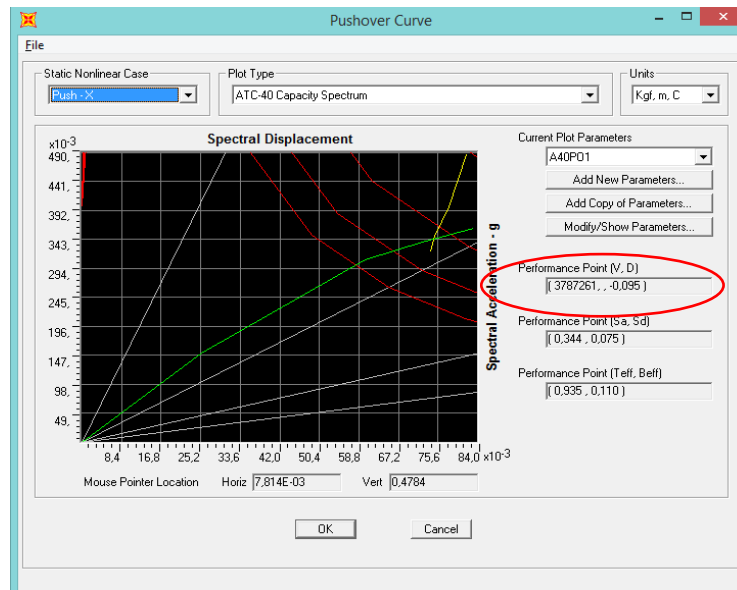
Lantai	Elevasi	Tinggi Antar Lantai	δx_e	δx	Δx	Δa	Cek
			Output SAP	$\delta x_e \cdot Cd / Ie$	$(\delta x_{e_i} - \delta x_{e_{(i-1)}}) \cdot Cd / Ie$	$0,020 \cdot h_{sx} / \rho$	
			mm	mm	mm	mm	
Atap	21,6	3,6	34,656	190,607	23,317	55,385	OK
5	18	3,6	30,416	167,290	27,149	55,385	OK
4	14,4	3,6	25,480	140,142	32,770	55,385	OK
3	10,8	3,6	19,522	107,371	37,784	55,385	OK
2	7,2	3,6	12,652	69,588	39,956	55,385	OK
1	3,6	3,6	5,388	29,631	29,631	55,385	OK

Berdasarkan hasil perhitungan kontrol simpangan yang dijelaskan pada tabel 5 dan 6, simpangan gedung memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 dalam peninjauan baik arah X maupun arah Y.

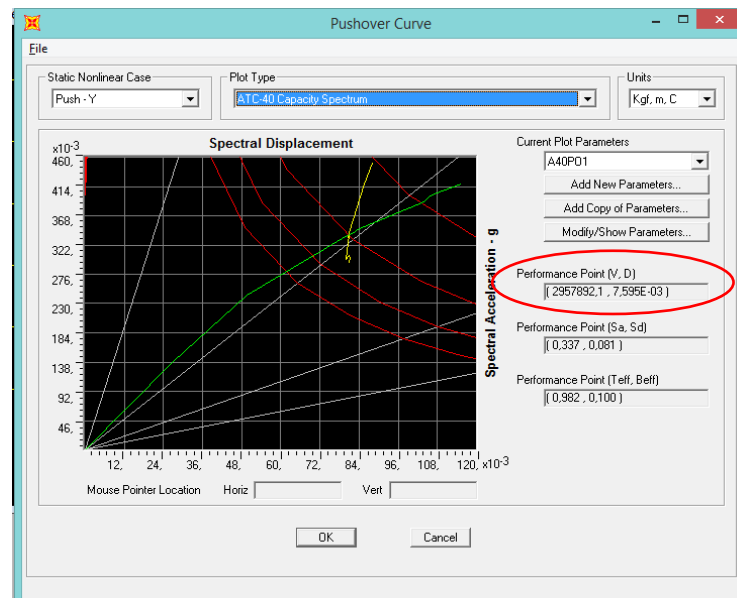
3.5 Hasil Analisis Pushover

- Titik kinerja (*performance point*)

Titik kinerja (*performance point*) dianalisis berdasarkan ATC-40. Titik kinerja struktur atau target perpindahan struktur didapatkan dari perpotongan kurva antara spektrum kapasitas struktur dan spektrum *demand*. Perpotongan kurva menunjukkan kapasitas struktur memenuhi besarnya *demand* (tuntutan beban kinerja yang direncanakan) akibat gempa respon spektrum rencana. Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan kurva *performance point* untuk arah X dan arah Y.



Gambar 5 Kurva Performance Point arah X



Gambar 6 Kurva Performance Point arah Y

Dari kurva performance point pada gambar 5 dan 6 didapatkan target perpindahan sebesar 0,095 m untuk arah X dan 0,00759 m untuk arah Y.

- Level kinerja struktur

Targe perpindahan struktur yang didapatkan pada gambar 5 dan 6, kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menghitung maksimum total drift untuk mendapatkan level kinerja struktur berdasarkan pada ATC-40. Batasan level kinerja stuktur ATC-40 dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Batasan Kinerja Struktur

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Struktural
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 \frac{Vl}{Pl}$

(Sumber: ATC-40 Tabel 8-4, p.819 [8])

Perhitungan maksimum total drift arah X dan arah Y :

Dt = target perpindahan struktur yang didapat dari analisis titik kinerja.

H = tinggi total struktur = 21,6 m.

$$\text{Maksimum total drift} - X = \frac{Dt}{H} = \frac{0,095}{21,6} = 0,0043$$

$$\text{Maksimum total drift} - Y = \frac{Dt}{H} = \frac{0,007}{21,6} = 0,0003$$

Dari perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai maksimum total drift untuk masing-masing arah tinjauan X dan Y mempunyai nilai lebih kecil daripada 0,01. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja struktur pada saat terkena beban gempa rencana terdapat dalam level IO (Immediate Occupancy) dimana suatu kondisi struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional setelah gempa rencana (damage state).

4. KESIMPULAN

- Besar simpangan maksimum pada gedung dengan bentang balok kantilever 4 m adalah 50,544 mm untuk arah X dan 39,956 mm untuk arah Y. Masing-masing arah tinjauan tersebut memenuhi syarat batas simpangan maksimum yaitu 55,385 mm.
- Berdasarkan hasil analisis non linier pushover dan peraturan ATC-40, struktur gedung beton bertulang dengan bentang kantilever 4 m mempunyai nilai maksimum total drift untuk masing-masing arah X dan Y adalah 0,0043 dan 0,0003, sehingga masuk dalam kategori level kinerja Immediate Occupancy (IO) dimana tidak terjadi kerusakan struktural dan bangunan masih dapat digunakan segera sesuai dengan fungsi bangunan tersebut.

5. REFERENSI

- [1] Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering based on Professionalism – Unika Soegijapranata, Semarang 17-18 Juni 2005.
- [2] Utami, T.P., N. Warastuti. (2017). *Analisis Kekuatan Bangunan Terhadap Gaya Gempa dengan Metode Pushover Studi Kasus Gedung Asrama Pusdiklat PPATK Depok*. Jurnal Infastruktur vol 3(2) pp. 99-106.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1987). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung. Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Strukturan untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- [8] ATC Council. (1971). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*.