

Evaluasi Ketentuan Keamanan Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Beton Bertulang Eksisting Akibat Beban Gempa

Jaka Suranto¹, Muhammad Aswin², Nursyamsi³

Departemen Teknik Sipil, Program Studi S2, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

* Email untuk Korespondensi: jakasuranto.st@gmail.com¹, muhammad.aswin@usu.ac.id², nursyamsi@usu.ac.id³

ABSTRAK

Kata kunci:

bangunan eksisting,
beban gempa; model
struktur; rasio
simpangan; level
kinerja struktur

Keywords:

existing buildings,
earthquake loads;
structure model;
intersection ratio;
Performance level of
the structure

Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah keruntuhan bangunan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka bangunan tahan gempa harus memenuhi mekanisme konsep bangunan tahan gempa. Berdasarkan hal ini, maka perlu dilakukan evaluasi ketentuan keamanan model struktur bangunan beton bertulang terhadap beban gempa berdasarkan peraturan dan ketentuan yang berlaku, serta penentuan level kinerja struktur dari bangunan tersebut, baik pada saat perencanaan maupun pada bangunan eksisting. Pada penelitian ini, ketahanan gempa dikaji terhadap bangunan eksisting. Sebagai sampel ditinjau Gedung SMP Muhammadiyah 5 yang berlokasi di Surabaya. Berdasarkan hasil pengecekan model struktur, diketahui bahwa struktur eksisting telah memenuhi ketentuan keamanan terhadap beban gempa. Dalam pemeriksaan simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, ketidakberturan struktur dan ketentuan Strong Column-Weak Beam (SC-WB), semua nilai memenuhi yang dipersyaratkan. Berdasarkan hasil dari analisis pushover pada arah x menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 3 dan berakhir pada step 26. Pada arah y menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 2 dan berakhir pada step 20. Berdasarkan hasil superposisi performance point terhadap kinerja struktur berdasarkan ASCE 41-13 NSP didapat bahwa level kinerja struktur termasuk dalam kategori Immediate Occupancy (IO). Selain itu, berdasarkan hasil FEMA-440 didapat rasio simpangan total maksimum pada arah x sebesar 0,0078 dan pada arah y sebesar 0,0080, dimana angka-angka ini menunjukkan nilai level kinerja struktur. Sesuai dengan ketentuan ATC-40, maka struktur eksisting ini berada pada kategori Immediate Occupancy (IO).

Earthquake-resistant building structures must have sufficient strength, rigidity and stability to prevent building collapse. To meet this, earthquake-resistant buildings must meet the mechanism of the earthquake-resistant building concept. Based on this, it is necessary to evaluate the safety provisions of reinforced concrete building structure models against earthquake loads based on applicable rules and regulations, as well as determine the level of structural performance of the building, both at the time of planning and in existing buildings. In this study, earthquake resistance was studied against existing buildings. As a sample, the Muhammadiyah 5 Junior High School Building located in Surabaya was reviewed. Based on the results of checking the structure model, it is known that the existing structure has met the safety provisions against earthquake loads. In the examination of inter-level deviation, the influence of P-delta, structural inturmity and the provision of Strong Column-Weak Beam (SC-WB), all values meet the requirements. Based on the results of pushover analysis in the x direction shows that the occurrence of plastic joints begins in step 3 and ends in step 26. In the y direction indicates that the occurrence of plastic joints begins in step 2 and ends in step 20. Based on the results of superposition performance points on structural performance based on ASCE 41-13 NSP, it was found that the performance level of the structure was included in the category of Immediate Occupancy (IO). In addition, based on the results of FEMA-440, the maximum total deviation ratio in the x direction is 0.0078 and in the y

direction is 0.0080, where these numbers indicate the value of the structure's performance level. In accordance with the provisions of ATC-40, this existing structure is in the Immediate Occupancy (IO) category.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).
This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.*

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu negara yang rentan terhadap gempa bumi. Sebagaimana diketahui, Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng dunia, antara lain: lempeng Australia, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Filipina. Selain itu, wilayah Indonesia juga dilalui oleh dua jalur gempa dunia, yaitu jalur gempa Asia dan jalur gempa Pasifik. Kedua kondisi ini memberikan peluang yang besar akan terjadinya gempa tektonik di Indonesia. Gempa bumi tentunya sangat berbahaya, dapat menyebabkan banyak korban jiwa dan kerusakan-bahkan kehancuran pada bangunan. Untuk itu sangat penting peranan perencanaan gedung tahan gempa, maupun evaluasi terhadap kekuatan bangunan eksisting dalam menahan beban gempa.

Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah keruntuhan bangunan. Menurut Simanjuntak [2] untuk bangunan tahan gempa harus memenuhi mekanisme konsep bangunan tahan gempa, yaitu pada gempa ringan struktur dan fungsi bangunan harus tetap berjalan, sehingga struktur tidak mengalami kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, pada gempa sedang elemen nonstruktural struktur dapat rusak tetapi elemen struktural tidak boleh rusak, pada saat terjadi gempa besar kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural diperbolehkan, tetapi tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa. Enggartiasto et. Al [3] meneliti struktur bangunan struktur beton bertulang dapat menggunakan analisis pushover untuk mengetahui level kinerja struktur dalam pengendalian kerusakan akibat beban gempa berdasarkan metode ASCE 14-13 NSP dan ATC-40. Masrilayanti et. Al [4] meneliti untuk struktur bangunan struktur beton bertulang dapat menggunakan analisis pushover untuk mengetahui level kinerja struktur dalam pengendalian kerusakan akibat beban gempa berdasarkan metode FEMA-440 dan ATC-40.

Untuk memastikan bangunan eksisting tahan terhadap beban gempa, maka dilakukan pemeriksaan terhadap ketentuan keamanan model struktur eksisting akibat beban gempa dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku.

METODE

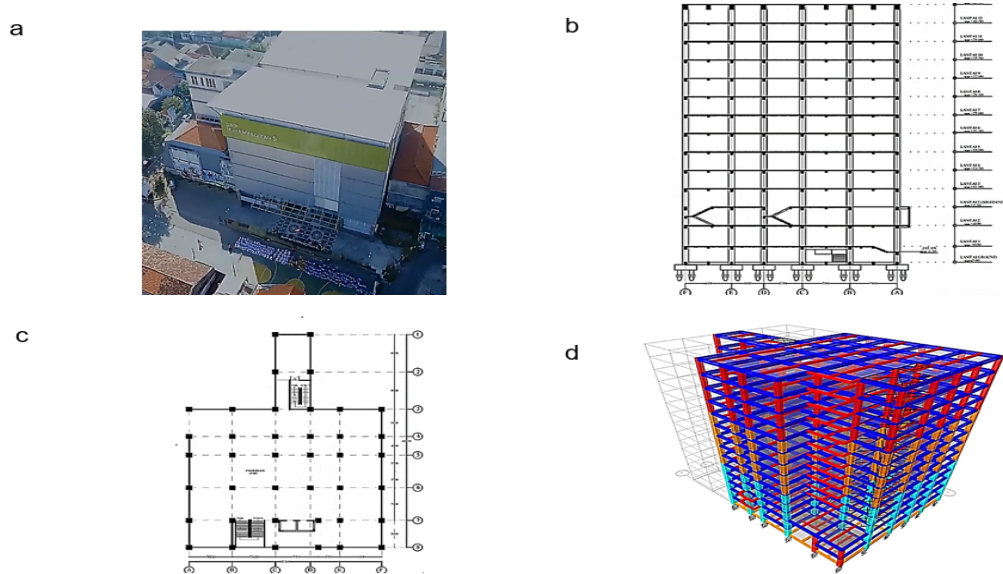
Sebelum melakukan analisis level kinerja struktur bangunan gedung eksisting, maka perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu apakah struktur bangunan eksisting sudah memenuhi persyaratan atau ketentuan yang berlaku.

Pada tahap pengecekan model struktur eksisting yaitu pemeriksaan terhadap batas simpangan antar tingkat, pemeriksaan pengaruh P-Delta, pemeriksaan ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal dan pemeriksaan terhadap konsep Strong Coloumn- Weak Beam (SC-WB).

Untuk analisis beban gempa menggunakan metode analisis response spektra. Kemudian dilakukan perormance level dengan analisis pushover dengan menggunakan software ETABS v.18.0.2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kajian bangunan yang dievaluasi SMP Muhammadiyah 5 yang berlokasi di Surabaya. Bangunan merupakan konstruksi beton bertulang yang memiliki 15 lantai, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) bangunan struktur beton eksisting; (b) potongan portal; (c) denah; (d) model struktur (sumber: Aldo Zulfikat Indo, 2018 [1])

Ketidakberaturan Horisontal dan Vertikal

Pemeriksaan ketidakberaturan horisontal dilakukan berdasarkan SNI 1727:2019 [5]. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
15	1,165	OK	1,027	OK
14	1,164	OK	1,027	OK
13	1,163	OK	1,027	OK
12	1,162	OK	1,027	OK
11	1,162	OK	1,027	OK
10	1,161	OK	1,027	OK
9	1,160	OK	1,027	OK
8	1,160	OK	1,027	OK
7	1,159	OK	1,027	OK
6	1,159	OK	1,028	OK
5	1,158	OK	1,029	OK
4	1,159	OK	1,030	OK
3	1,158	OK	1,031	OK
2	1,151	OK	1,028	OK
1	1,142	OK	1,029	OK

Tabel 2. Ketidakberaturan sudut dalam

Lx	31,80	m
Px	14,00	m
Ly	45,65	m
Py	16,00	m
Px/Lx	2,27	
Py/Lx	2,85	
Cek	OK	

Sedangkan pemeriksaan terhadap ketidakberaturan vertikal berdasarkan SNI 1727:2019 [5], hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan (kN/m)	Cek	Kekakuan (kN/m)	Cek
15	398,63	OK	404,60	OK
14	679,19	OK	702,08	OK
13	861,43	OK	902,54	OK
12	989,34	OK	1045,45	OK
11	1099,63	OK	1165,85	OK
10	1210,15	OK	1282,58	OK
9	1317,38	OK	1393,98	OK
8	1414,48	OK	1495,77	OK
7	1498,74	OK	1586,59	OK
6	1579,47	OK	1675,55	OK
5	1669,14	OK	1773,55	OK
4	1766,91	OK	1876,60	OK
3	1879,92	OK	1991,70	OK
2	1952,49	OK	2063,12	OK
1	1991,75	OK	2102,76	OK

Tabel 2. Ketidakeraturan berat (massa)

Lantai	Massa (ton)	Cek
15	121,85	OK
14	146,81	OK
13	146,81	OK
12	146,81	OK
11	151,69	OK
10	156,58	OK
9	156,58	OK
8	156,58	OK
7	156,58	OK
6	162,11	OK
5	167,65	OK
4	159,79	OK
3	178,67	OK
2	174,30	OK
1	180,39	OK

Tabel 5. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan (kN)	Cek	Kekuatan (kN)	Cek
15	479,38	OK	486,40	OK
14	817,00	OK	844,17	OK
13	1036,33	OK	1085,27	OK
12	1190,18	OK	1257,09	OK
11	1322,71	OK	1401,81	OK
10	1455,44	OK	1542,07	OK
9	1584,16	OK	1675,91	OK
8	1700,74	OK	1798,22	OK

7	1801,96	OK	1907,38	OK
6	1899,05	OK	2014,31	OK
5	2006,99	OK	2132,15	OK
4	2124,70	OK	2256,10	OK
3	2260,70	OK	2394,80	OK
2	2348,30	OK	2481,04	OK
1	2404,08	OK	2537,30	OK

Simpangan Antar Tingkat

Pemeriksaan simpangan antar tingkat dilakukan berdasarkan SNI 1727:2019 [5], dan hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 3. Simpangan antar tingkat

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
15	50,21	40,41	1,13	0,89	3500	4,17	3,29	27	OK
14	49,07	39,51	1,68	1,35	3500	6,16	4,97	27	OK
13	47,39	38,15	2,26	1,80	3500	8,31	6,63	27	OK
12	45,12	36,35	2,85	2,26	3500	10,47	8,30	27	OK
11	42,27	34,08	3,22	2,54	3500	11,81	9,31	27	OK
10	39,05	31,54	3,62	2,86	3500	13,30	10,51	27	OK
9	35,42	28,67	4,03	3,19	3500	14,79	11,72	27	OK
8	31,38	25,47	4,42	3,51	3500	16,21	12,88	27	OK
7	26,96	21,96	4,78	3,81	3500	17,53	13,99	27	OK
6	22,18	18,14	4,92	3,93	3500	18,04	14,43	27	OK
5	17,26	14,20	5,04	4,072	3500	18,49	14,93	27	OK
4	12,22	10,13	4,96	4,05	3500	18,20	14,87	27	OK
3	7,25	6,08	4,93	4,1	4000	18,11	15,07	31	OK
2	2,31	1,97	2,12	1,80	3000	7,79	6,62	23	OK
1	0,18	0,16	0,18	0,16	1000	0,67	0,58	8	OK

Pengaruh P-Delta

Pemeriksaan pengaruh P-delta dilakukan berdasarkan SNI 1727:2019 [5]. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 7.

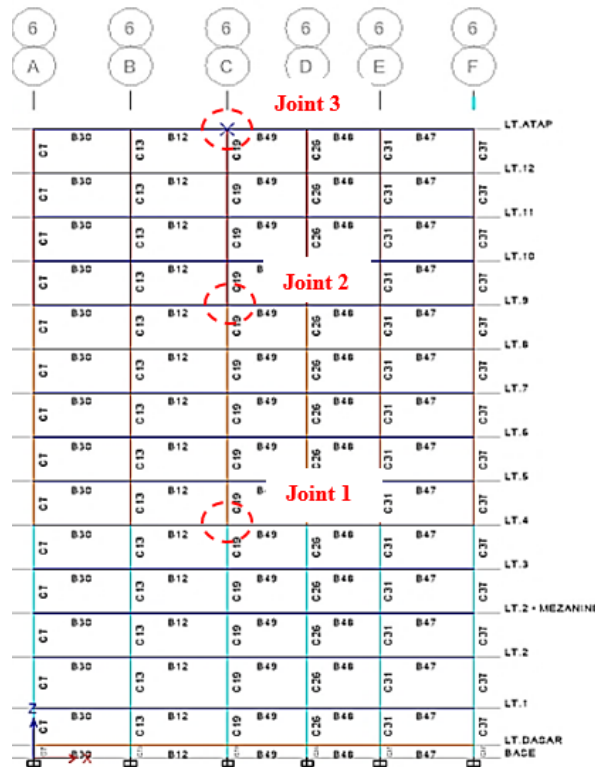
Tabel 7. Pengaruh P-delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)					
15	4,17	3,29	7563,10	612,52	619,54	3500	0,0040	0,0031	0,1000	0,0909	OK
14	6,16	4,97	19808,12	1040,0	1070,2	3500	0,0091	0,0072	0,1000	0,0909	OK
13	8,31	6,63	32126,58	1315,6	1371,0	3500	0,0158	0,0121	0,1000	0,0909	OK
12	10,4	8,30	44445,04	1514,0	1590,8	3500	0,0240	0,0181	0,1000	0,0909	OK
11	11,8	9,31	57327,53	1689,0	1780,8	3500	0,0312	0,0234	0,1000	0,0909	OK
10	13,3	10,5	70210,02	1858,7	1958,3	3500	0,0392	0,0294	0,1000	0,0909	OK
9	14,7	11,7	83092,51	2021,1	2125,5	3500	0,0474	0,0357	0,1000	0,0909	OK
8	16,2	12,8	95975,00	2167,6	2277,5	3500	0,0559	0,0423	0,1000	0,0909	OK
7	17,5	13,9	108857,4	2298,4	2417,5	3500	0,0647	0,0491	0,1000	0,0909	OK
6	18,0	14,4	122379,2	2425,5	2556,8	3500	0,0709	0,0539	0,1000	0,0909	OK
5	18,4	14,9	135900,9	2563,7	2706,5	3500	0,0764	0,0584	0,1000	0,0909	OK

Stor y	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)		θ_x	θ_y			
4	18,20	14,87	148083,34	2709,93	2859,67	3500	0,0775	0,0600	0,1000	0,0909	OK
3	18,11	15,07	162113,25	2882,07	3034,80	4000	0,0695	0,0549	0,1000	0,0909	OK
2	7,79	6,62	176628,98	2993,40	3144,57	3000	0,0418	0,0338	0,1000	0,0909	OK
1	0,67	0,58	190944,12	3063,55	3215,33	1000	0,0115	0,0095	0,1000	0,0909	OK

Strong Column-Weak Beam (Sc-Wb)

Pemeriksaan SC-WB dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 [6]. Terdapat 3 joint balok-kolom yang diperiksa pada lokasi yang berbeda. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemeriksaan SC-WB pada 3 joint yang berbeda lokasi

- SC-WB pada joint 1:

Diambil nilai momen nominal kolom, M_{nc} = 2185.87 kNm
 M_n^- Tumpuan Balok Kiri = 63.27 kNm
 M_n^+ Tumpuan Balok Kanan = 89.68 kNm

Cek Strong Coloumn - Weak Beam (SC-WB), sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \cdot (M_{n\text{ kiri}}^- + M_{n\text{ kanan}}^+)$$

2185.87 kNm \geq 183.54 kNm (OK)

- SC-WB pada joint 2

Diambil nilai momen nominal kolom, M_{nc}	=	1440.53 kNm
M_n^- Tumpuan Balok Kiri	=	38.27 kNm
M_n^- Tumpuan Balok Kanan	=	60.28 kNm

Cek Strong Coloumn - Weak Beam (SC-WB), sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 :

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \cdot (M_{n \text{ kiri}}^- + M_{n \text{ kanan}}^-) \\ 1440.53 \text{ kNm} &\geq 118.26 \text{ kNm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

• SC-WB pada joint 3:

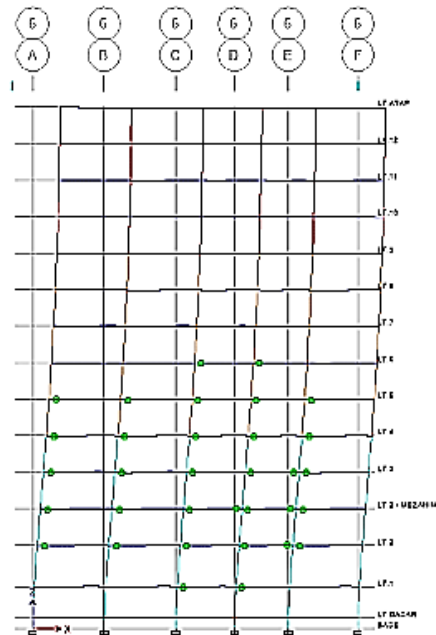
Diambil nilai momen nominal kolom, M_{nc}	=	1021.76 kNm
M_n^- Tumpuan Balok Kiri	=	0.83 kNm
M_n^- Tumpuan Balok Kanan	=	12.28 kNm

Cek Strong Coloumn - Weak Beam (SC-WB), sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 :

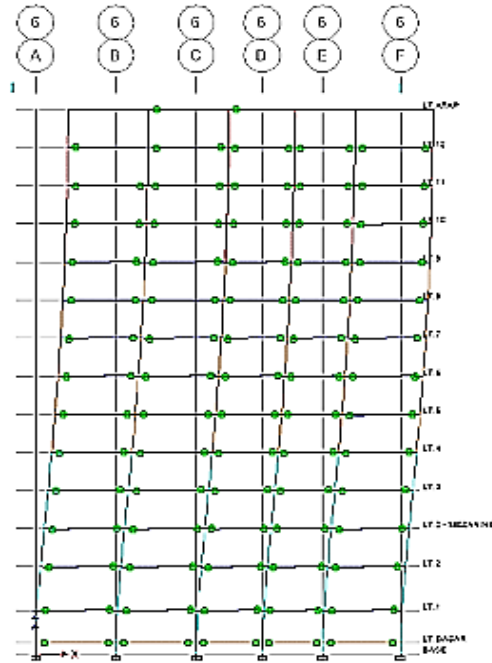
$$\begin{aligned} \Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \cdot (M_{n \text{ kiri}}^- + M_{n \text{ kanan}}^-) \\ 1021.76 \text{ kNm} &\geq 15.74 \text{ kNm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Pushover Analysis

Hasil dari analisis pushover pada arah x menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 3 dan berakhir pada step 26, seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

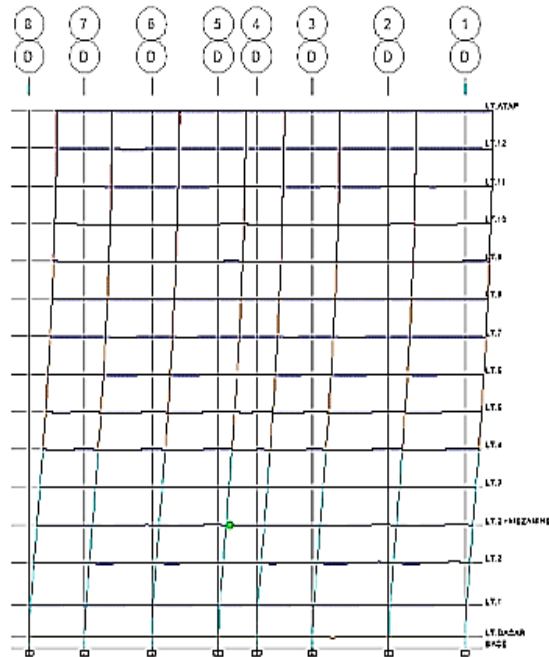


Gambar 3. Pembentukan sendi plastis pada arah x, pada step 3

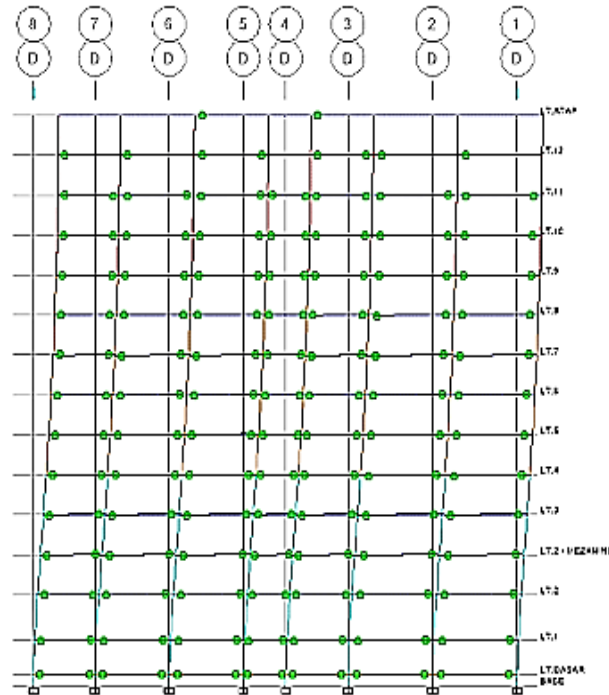


Gambar 4. Pembentukan sendi plastis pada arah x pada step 26

Hasil dari analisis pushover pada arah y menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 2 dan berakhir pada step 20, seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Pembentukan sendi plastis pada arah y pada step 2



Gambar 6. Pembentukan sendi plastis pada arah y pada step 20

Selain itu, performance point berdasarkan ketentuan ASCE 41-13 NSP [7] dapat diketahui, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

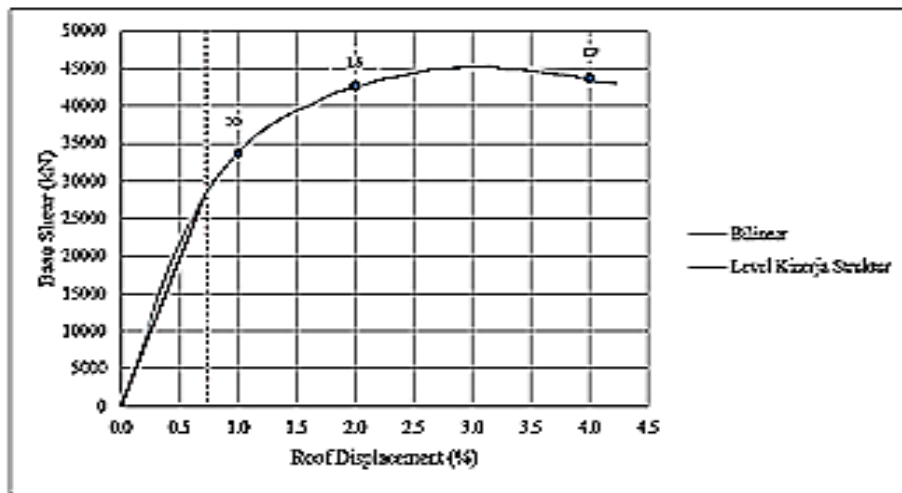


Gambar 7. Kurva pushover arah x berdasarkan ASCE 41-13 NSP

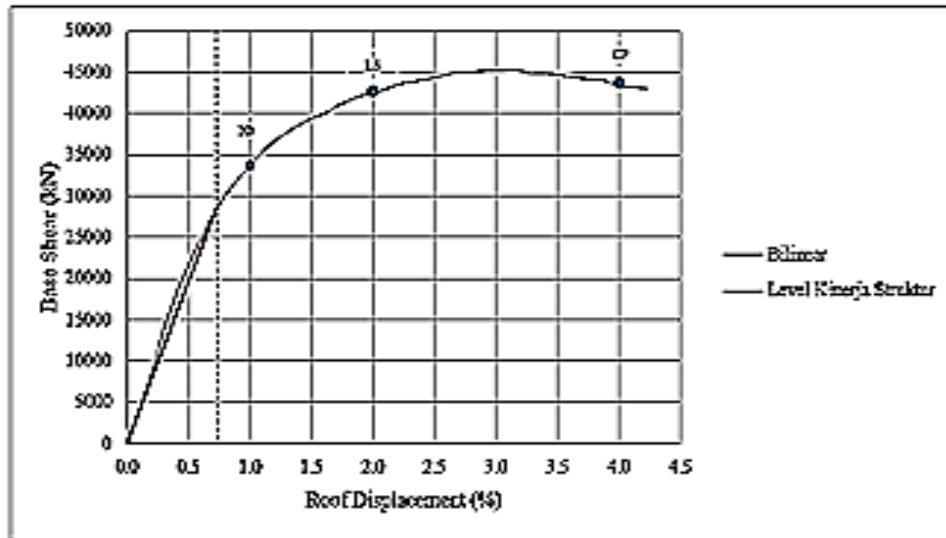


Gambar 8. Kurva pushover arah y berdasarkan ASCE 41-13 NSP

Berdasarkan hasil superposisi performance point terhadap kinerja struktur yang mengacu pada ASCE 41-13 NSP [7], didapat bahwa level kinerja struktur termasuk pada kategori Immediate Occupancy (IO), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Superposisi performance point arah x berdasarkan ASCE 41-13 NSP

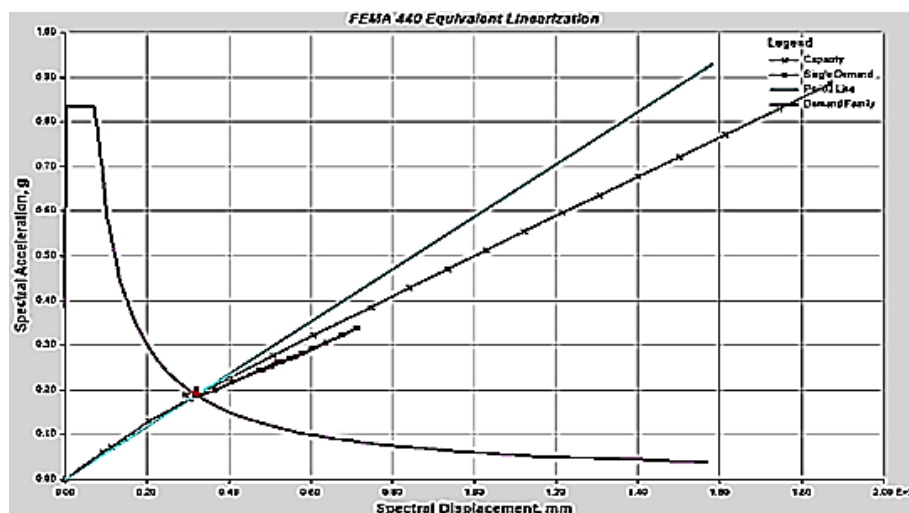


Gambar 10. Superposisi performance point arah y berdasarkan ASCE 41-13 NSP

Berikutnya merupakan performance point berdasarkan ketentuan dari FEMA- 440 [8], seperti terlihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Kurva pushover arah x berdasarkan FEMA-440



Gambar 12. Kurva pushover arah y berdasarkan FEMA-440

Berdasarkan hasil analisis menurut ketentuan FEMA-440 [8] didapat rasio simpangan total maksimum arah x sebesar 0,0078 dan arah y sebesar 0,0080, dimana angka-angka ini menunjukkan nilai level kinerja struktur. Berdasarkan ATC-40 [9] maka struktur eksisting yang ditinjau termasuk kategori Immediate Occupancy (IO).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang sudah diuraikan di atas, maka bangunan beton bertulang eksisting yang ditinjau, dapat ditarik kesimpulan yaitu: a.) Hasil pemeriksaan simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, ketidakturunan struktur dan Strong Column-Weak Beam (SC-WB), menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi persyaratan. b.) Hasil dari analisis pushover pada arah x menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 3 dan berakhir pada step 26. Sedangkan pada arah y menunjukkan bahwa terjadinya sendi plastis dimulai pada step 2 dan berakhir pada step 20. c.) Hasil superposisi performance point terhadap kinerja struktur berdasarkan ASCE 41-13 NSP didapat bahwa level kinerja struktur termasuk pada kategori Immediate Occupancy (IO). d.) Sedangkan berdasarkan FEMA-440, didapat rasio simpangan total maksimum pada arah x sebesar 0,0078 dan pada arah y sebesar 0,0080, dimana angka-angka ini menunjukkan level kinerja struktur. Dimana berdasarkan ketentuan ATC-40, bangunan eksisting yang ditinjau termasuk pada kategori Immediate Occupancy (IO) juga.

REFERENSI

- [1] Aldo Zulfikar Indo, "Desain Modifikasi Struktur Gedung SMP Muhammadiyah 5 Surabaya Dengan Menggunakan Balok Pratekan dan Sistem Rangka Pemikul Momen," Institut Teknologi Sepuluh Noverber Surabaya, 2018.
- [2] P. Simanjuntak, "Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia ". Journal CENTECH 2020 Vol.1, 2020.
- [3] L. Enggartiasto et.al, " Evaluasi Tingkat Kelayakan Struktur Gedung Eksisting 8 Lantai di Kota Semarang," <http://journals.usm.ac.id/index.php/teknika>, 2023.
- [4] Masrilyanti et.al, " Performance Evaluation of High-Rise Apartment Building Using Pushover Analysis," E3S Web of Conferences, 429. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905024>, 2023.
- [5] BSN, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung," Badan Standardisasi Nasional - Indonesia, SNI-1726, 2019.
- [6] BSN, " Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan," Badan Standardisasi Nasional - Indonesia, SNI-2847, 2019.
- [7] ASCE, " Seismic Evaluation And Retrofit of Existing Buildings," American Society of Civil Engineers, & Structural Engineering Institute, 2005.
- [8] Federal Emergency Management Agency, " Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures FEMA 440 FEMA nehrp", FEMA 440, Washington, 2005.
- [9] ATC-40, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", ATC-40, Vol.1, California, 1996.