

Evaluasi Reliabilitas Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Baja Eksisting Akibat Beban Gempa

Hariman Siregar¹, Muhammad Aswin², Bustami Syam³

^{1,2}Program Studi S2, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

³Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

* Email untuk Korespondensi: haris.conz@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu faktor yang mempengaruhi perancangan struktur bangunan adalah kekuatan, yaitu berkaitan dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan atau menerima beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Dalam perancangan struktur khususnya struktur bangunan struktur baja harus dirancang dengan memperhatikan pengaruh gempa terhadap struktur tersebut agar bangunan tersebut dapat digunakan dengan nyaman dan aman. Analisis pushover struktur bangunan merupakan salah satu metode analisis statik nonlinier, dimana pengaruh gempa terencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban statik yang menangkap pusat massa setiap lantai, yang nilainya dinaikkan secara bertahap hingga melebihi nilai yang ditentukan. beban yang menyebabkan luluh. sambungan plastik) pertama pada struktur bangunan. Penelitian dilakukan di lahan parkir transformasi Sarinah di Jakarta. Berdasarkan analisis respon spektral dengan bantuan program ETABS v.21, bangunan tersebut telah dapat diandalkan terhadap peraturan terkini. Model struktur bangunan diuji faktor ketidakteraturan horizontal dan vertikal, perbedaan tingkat, efek P-Delta, rasio tegangan elemen balok dan kolom, rasio Kuat Kolom-Balok Lemah (SC-WB) dan tingkat kinerja struktur melalui analisis pushover, semuanya memenuhi persyaratan. Tingkat kinerja yang diperoleh adalah Damage Control (DO) yang berarti bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.

Kata kunci:

beban gempa;
pushover; performance
level; sendi plastis; SC-
WB

Keywords:

earthquake load;
pushover; performance
level; plastic joints;
SC-WB

One of the factors that affect the design of building structures is strength, which is related to the safety and resilience of buildings in resisting or accepting loads that act on the structure. In structural design, especially steel structure building structures, must be designed by taking into account the influence of earthquakes on the structure so that the building can be used comfortably and safely. Pushover analysis of building structures is one of the methods of nonlinear static analysis, where the influence of planned earthquakes on building structures is considered a static load that captures the center of mass of each floor, the value of which is gradually increased until it exceeds the specified value. the load that caused the melt. plastic joints) first on the building structure. The research was conducted in the Sarinah transformation parking lot in Jakarta. Based on spectral response analysis with the help of the ETABS v.21 program, the building has been reliable against the latest regulations. Building structure models are tested horizontal and vertical irregularity factors, level difference, P-Delta effect, beam and column element stress ratio, Weak Column-Beam Strong ratio (SC-WB) and structure performance level through pushover analysis, all meet the requirements. The level of performance obtained is Damage Control (DO) which means the building is still able to withstand the earthquake that occurs and the risk of casualties is very small.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

PENDAHULUAN

Berdasarkan letak geografisnya, Indonesia berada pada pertemuan empat lempeng dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, lempeng Filipina, dan lempeng Pasifik. Selain itu, Indonesia juga dilewati dua jalur gempa dunia, yaitu jalur gempa Asia dan Pasifik. Jalur Gempa Pasifik juga merupakan Cincin Api Pasifik, yaitu jalur gempa yang dibarengi dengan adanya deretan pegunungan api aktif, yang membentang di sepanjang jalur gempa Pasifik. Kondisi ini menjadikan Indonesia rentan terhadap gempa, yang berpotensi menyebabkan kerusakan atau runtuhnya bangunan.

Dalam merencanakan struktur suatu bangunan, baik yang diperuntukkan bagi tempat tinggal, tempat usaha maupun fungsi khusus, harus dirancang sesuai dengan standar yang berlaku. Perencanaan ini dimaksudkan untuk meminimalkan risiko kegagalan struktur. Baik rumah, bangunan bertingkat, maupun bangunan lainnya saat ini tidak boleh direncanakan hanya dengan pertimbangan fungsional saja, namun harus mampu merespon jenis gempa yang terjadi di setiap wilayah sesuai dengan potensi gempanya. Di sisi lain, peraturan bangunan terus diperbaharui sehingga bangunan lama perlu diperiksa ulang keandalannya terhadap peraturan baru.

Untuk mengetahui perilaku nonlinier bangunan perlu dilakukan analisis Pushover. Analisis ini merupakan analisis statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban statik yang menangkap pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya dinaikkan secara bertahap hingga melebihi beban yang menyebabkan pelelehan pertama (sambungan plastik) terjadi. Pada struktur bangunan, kemudian dengan bertambahnya beban maka mengalami deformasi pasca elastis yang besar hingga mencapai target transisi yang diharapkan atau hingga mencapai kondisi plastis.

Pada saat terjadi gempa bumi, pelepasan sendi plastis pertama diperkirakan akan terjadi pada balok. Untuk itu suatu bangunan perlu dirancang berdasarkan konsep Strong Column-Weak Beam (SC-WB) agar apabila sewaktu-waktu terjadi guncangan besar akibat gempa bumi maka kolom-kolom bangunan tersebut akan tetap bertahan, sehingga orang-orang yang berada di dalam bangunan tersebut tetap dapat bertahan dan mempunyai waktu untuk menyelamatkan diri sebelum bangunan runtuh tersebut benar-benar runtuh.

Wiryanto Dewobroto [1] melakukan evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan menggunakan SAP 2000. Dari hasil analisis studi kasus portal baja 3D disimpulkan bahwa titik penentu kinerja adalah metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 (ASCE 2000), sedangkan metode Kapasitas Spektrum (ATC 1996) memberikan nilai terkecil (tidak konservatif). Analisis pushover juga menunjukkan bahwa daktilitas portal berbeda ke arah lain.

Fajar Nugroho [2] melakukan analisis pushover pada bangunan berstruktur beton 3 lantai. Berdasarkan kriteria SNI kinerja struktur tidak ada yang melewati kondisi Life Safety (LS) sehingga kinerja struktur dapat dikatakan baik, sedangkan berdasarkan kriteria FEMA kinerja struktur sudah melewati kondisi LS bahkan ambruk sehingga bahwa kinerja struktural dapat dikatakan kurang baik.

Djamel Yahmi, dkk [3] melakukan analisis pushover pada rangka baja pemikul momen. Hasilnya adalah (1) kapasitas lateral struktur rangka yang diteliti meningkat seiring dengan meningkatnya faktor kapasitas dan batas kinerja struktur dipengaruhi oleh penambahan jumlah lantai sehingga menyebabkan peningkatan risiko ketidakstabilan; (2) Baik jumlah teluk maupun pola beban lateral tidak mempengaruhi faktor kekuatan cadangan kecuali jumlah lantai; (3) Terlepas dari jumlah lantai dan teluk, semua frame yang dianalisis memiliki redundansi serupa yang nilai rata-ratanya lebih tinggi dari yang direkomendasikan oleh EC8; (4) Nilai faktor daktilitas tertinggi, dihitung dengan beban segitiga, diperoleh untuk rangka bertingkat rendah di bawah kapasitas ultimit global; (5) Nilai faktor q terbesar diperoleh untuk rangka bertingkat rendah dan lebih tinggi dibandingkan nilai EC8

METODE

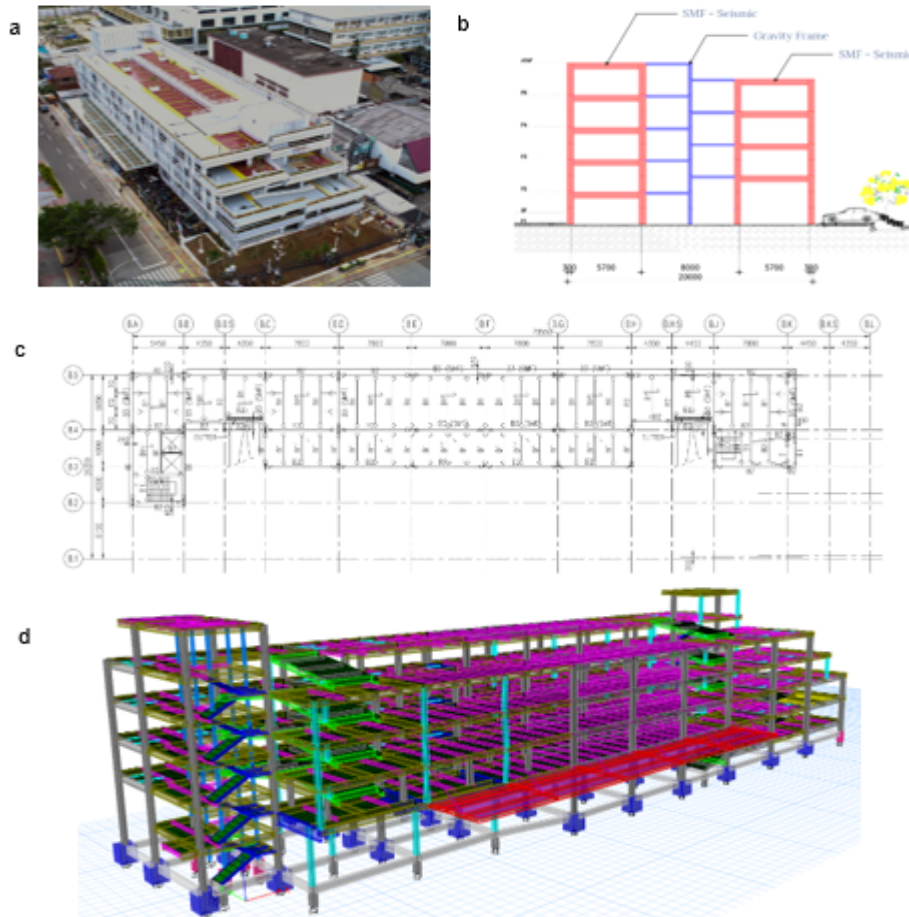
Sebelum melakukan evaluasi tingkat kinerja bangunan gedung eksisting, perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu apakah struktur bangunan eksisting sudah memenuhi persyaratan atau ketentuan yang berlaku.

Pada tahap verifikasi desain struktur bangunan eksisting, pembebanan yang diambil meliputi Beban Mati (DL), Beban Mati Super yang Dipaksakan (SIDL), Beban Hidup (LL), Beban Air Hujan (R), Beban Angin (W) dan Beban Gempa (EQ). Verifikasi yang dilakukan adalah periode struktur, bentuk dan jumlah modulus bentuk, rasio massa partisipasi modal, geser dasar, skala gaya, perbandingan geser dasar, ketidakteraturan horizontal dan vertikal, simpangan tingkat, efek P-Delta, rasio tegangan balok dan elemen kolom, serta rasio Kuat Kolom-Balok Lemah (SC-WB).

Penelitian ini menggunakan metode analisis data kuantitatif, dimana datanya bersifat numerik. Dalam melakukan performance level dengan analisis pushover digunakan software ETABS v.21.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini yang ditinjau adalah bangunan struktur baja dengan Rangka Momen Khusus (RMK) lantai lima, bangunan tidak beraturan seperti terlihat pada Gambar 1. Bangunan dirancang sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung [4] merupakan gedung parkir transformasi Sarinah. Bangunan terletak di kota Jakarta, klasifikasi situs tanah lunak (SE).



Gambar 1 (a) bangunan struktur baja eksisting; (b) potongan portal; (c) denah ATP-B; (d) model struktur (sumber Davy Sukamta, 2022 [6])

Ketidakberaturan Horisontal Dan Vertikal

Dari hasil analisa struktur, diperoleh hasil ketidakberaturan horisontal dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 1. Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
TOP	1,001	OK	1,338	H.1a
ATP-B	1,038	OK	1,442	H.1b
ATP-A	1,069	OK	1,254	H.1a
P4B	1,054	OK	1,318	H.1a
P4A	1,044	OK	1,181	OK
P3B	1,038	OK	1,268	H.1a
P3A	1,025	OK	1,198	OK
P2B	1,092	OK	1,341	H.1a
P2A	1,141	OK	1,506	H.1b
MEZZ	1,143	OK	1,604	H.1b
P1A	1,215	H.1a	1,503	H.1b
GF	1,986	H.1b	1,987	H.1b

Tabel 1. Ketidakberaturan sudut dalam

Lx	78,88	m
Px	1	m
Ly	20,2	m
Py	13,875	m
Px/Lx	0,0127	
Py/Lx	0,6869	
Cek	H.2	

Sedangkan untuk ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada tabel 3, tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 3. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
TOP	22934,748		64064,975	
ATP-B	129610,425	OK	661482,820	OK
ATP-A	192532,731	OK	813499,328	OK
P4B	179920,927	OK	880218,683	OK
P4A	240384,026	OK	928283,702	OK
P3B	172379,192	OK	951212,752	OK
P3A	164047,693	OK	801844,289	OK
P2B	167726,388	OK	831649,346	OK
P2A	214696,180	OK	665557,751	V.1a
MEZZ	231878,154	OK	632615,651	OK
P1A	597477,141	OK	1155104,784	OK
GF	3969333,533	OK	9051172,085	OK

Tabel 2. Ketidakberaturan berat (massa)

Lantai	Massa	
	kg	Cek
TOP	70985,210	OK
ATP-B	356095,320	V.2
ATP-A	339391,500	OK
P4B	361537,440	OK
P4A	353932,000	OK
P3B	379025,640	OK
P3A	360586,750	OK
P2B	400781,250	OK
P2A	382096,220	V.2
MEZZ	195648,820	V.2
P1A	100499,880	OK
GF	373226,740	V.2

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

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
TOP	148,939		139,362	
ATP-B	620,712	OK	631,519	OK
ATP-A	744,693	OK	882,444	OK
P4B	983,944	OK	1405,531	OK
P4A	1271,084	OK	1542,143	OK

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
P3B	1391,559	OK	2078,414	OK
P3A	1592,885	OK	1990,206	OK
P2B	1662,681	OK	2193,204	OK
P2A	1936,304	OK	2222,148	OK
MEZZ	1490,283	V.5a	1845,400	OK
P1A	948,994	V.5b	1312,851	V.5a
GF	3012,131	OK	2705,403	OK

Dari hasil pemeriksaan ketidakberaturan diatas, maka bangunan memperoleh finalti sebagai berikut:

- Faktor redundansi (ρ) harus diambil 1,3.
- Pembesaran momen torsi tak terduga harus diterapkan dengan mengalikan M_{ta} dimasing-masing tingkat dengan faktor perbesaran torsi (A_x) sebagai berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2 \delta_{avg}} \right)^2$$

Metode analisis yang diijinkan adalah spektrum respons ragam dan respons riwayat waktu seismik.

Simpangan Antar Tingkat

Berikut adalah perhitungan simpangan antar tingkat:

- Simpangan antar tingkat izin $\Delta_a = 0,020 \cdot h$
- Faktor redundansi $\rho = 1,3$
- Story drift inelastik ijin $\Delta_{max} = \Delta / \rho = 0,0154 \cdot h$
- Faktor pembesaran defleksi $C_d = 5,5$
- Faktor keutamaan gempa $I_e = 1,00$
- Story drift inelastik $\Delta_a = \delta \cdot C_d / I_e$

Tabel 6 berikut adalah hasil perhitungan simpangan antar tingkat untuk masing-masing lantai.

Tabel 3. Simpangan antar tingkat

Story	Story Name	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
		δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)		
11	TOP	26,86	17,75	3,93	5,13	3250	21,63	28,22	50,00	OK
10	ATP-B	22,93	12,62	1,39	1,10	1500	7,62	6,03	23,08	OK
9	ATP-A	21,55	11,53	1,28	0,11	1500	7,04	0,58	23,08	OK
8	P4B	20,27	11,42	1,93	1,59	1500	10,61	8,75	23,08	OK
7	P4A	18,34	9,83	2,06	0,62	1500	11,33	3,38	23,08	OK
6	P3B	16,28	9,21	2,65	1,92	1500	14,55	10,58	23,08	OK
5	P3A	13,63	7,29	2,82	1,06	1500	15,49	5,84	23,08	OK
4	P2B	10,82	6,23	3,23	1,94	1500	17,74	10,69	23,08	OK
3	P2A	7,59	4,28	3,19	2,06	1500	17,53	11,33	23,08	OK
2	MEZZ	4,40	2,22	2,74	1,29	1500	15,08	7,07	23,08	OK
1	P1A	1,66	0,94	1,66	0,94	1500	9,14	5,16	23,08	OK

Pengaruh P-Delta

Koefisien stabilitas (θ) yang bebas dari pengaruh P-delta adalah:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x I_{sx} C_d} \leq 0,1$$

θ tidak boleh lebih besar dari:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

Rasio kebutuhan geser $\beta = 1$

Batas koefisien stabilitas, $\theta_{max} = 0,091$

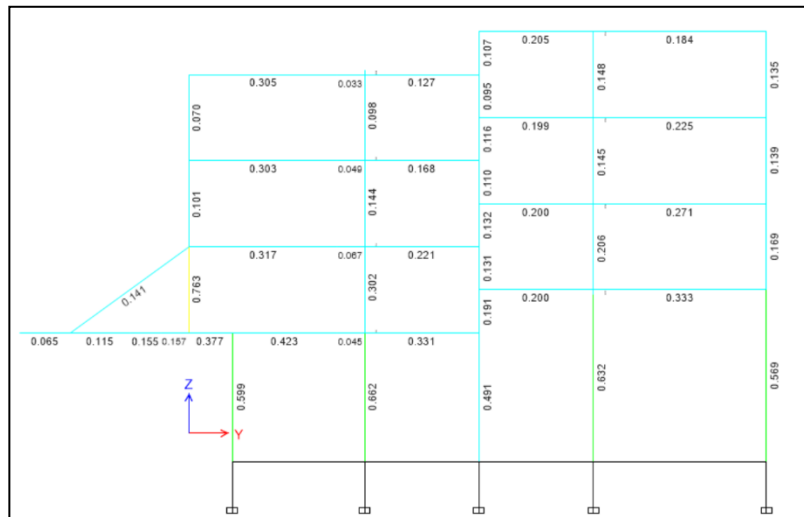
Tabel 7 berikut adalah nilai pengaruh P-delta pada setiap tingkat.

Tabel 4. Pengaruh P-delta

Story	y	Story Name	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Ce k
			Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)		θ_X	θ_Y			
			11	TOP	21,63	28,22	977,90		148,94	139,36			
10	ATP-B	7,62	6,03	5421,36	620,71	631,52	1500	0,008	0,006	0,100	0,091	OK	
9	ATP-A	7,04	0,58	5591,78	744,69	882,44	1500	0,006	0,000	0,100	0,091	OK	
8	P4B	10,61	8,75	11213,44	983,94	1405,53	1500	0,015	0,008	0,100	0,091	OK	
7	P4A	11,33	3,38	11758,52	1271,08	1542,14	1500	0,013	0,003	0,100	0,091	OK	
6	P3B	14,55	10,58	17442,71	1391,56	2078,41	1500	0,022	0,011	0,100	0,091	OK	
5	P3A	15,49	5,84	17637,06	1592,89	1990,21	1500	0,021	0,006	0,100	0,091	OK	
4	P2B	17,74	10,69	24296,98	1662,68	2193,20	1500	0,031	0,014	0,100	0,091	OK	
3	P2A	17,53	11,33	23607,48	1936,30	2222,15	1500	0,026	0,015	0,100	0,091	OK	
2	MEZ	15,08	7,07	16250,70	1490,28	1845,40	1500	0,020	0,008	0,100	0,091	OK	
1	P1A	9,14	5,16	13228,72	948,99	1312,85	1500	0,015	0,006	0,100	0,091	OK	

Rasio Tegangan Balok dan Kolom

Langkah selanjutnya adalah pengecekan rasio tegangan elemen balok dan kolom. Rasio tegangan yang dihasilkan haruslah lebih kecil dari 1,0. Dari gambar 2 berikut ini terlihat semua rasio nilainya dibawah 1 (satu), artinya profil balok dan kolom dapat dipakai.



Gambar 2. Rasio tegangan balok dan kolom Grid B.C

Rasio Strong Column Weak Beam (Sc-Wb)

- SC-WB Arah X, sesuai SNI 7860: 2020 [5]

$$\Sigma M_{pc} = 2.728 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\Sigma M_{pb} = 2.681 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Ratio} := \frac{\Sigma M_{pc}}{\Sigma M_{pb}} = 1.018$$

$$\text{Cek} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if Ratio} > 1 \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cek = "OK" → MEMENUHI SYARAT SCWB

- SC-WB Arah Y, sesuai SNI 7860: 2020 [5]

$$\Sigma M_{pc} = 2.794 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\Sigma M_{pb} = 9.465 \times 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Ratio} := \frac{\Sigma M_{pc}}{\Sigma M_{pb}} = 2.952$$

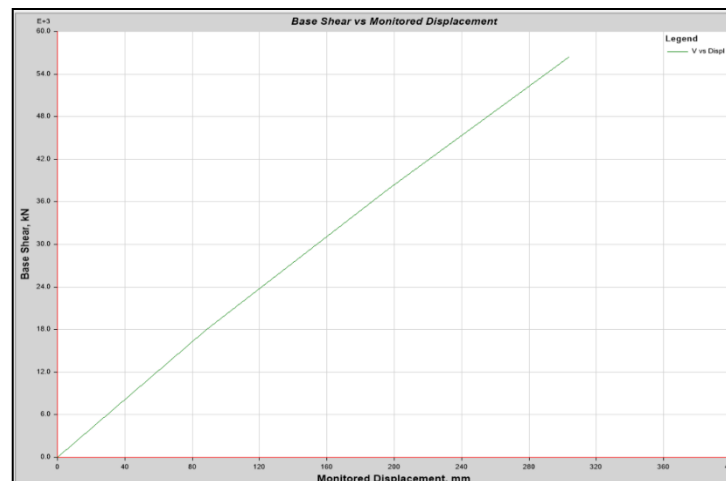
$$\text{Cek} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if Ratio} > 1 \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cek = "OK"

--> MEMENUHI SYARAT SCWB

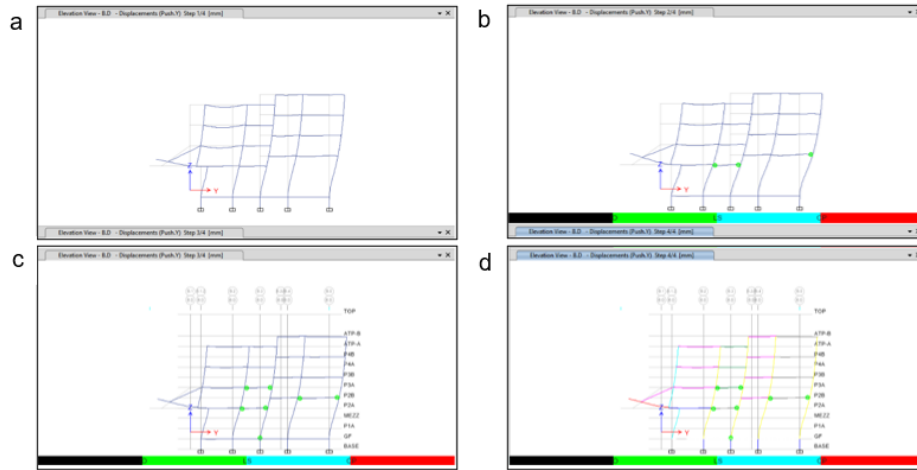
Pushover Analysis

Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*), seperti yang terlihat pada Gambar 3. Dari grafik diperoleh nilai *displacement* (δ_y) 87,898 mm dan *base shear* (V_y) 17929,6898 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 303,726 mm dan *base shear* (V_m) 56388,6615 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan.



Gambar 3. Kurva kapasitas

Mekanisme sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu, kemudian diikuti pada kolom. Proses terjadinya sendi plastis terlihat pada Gambar 4.



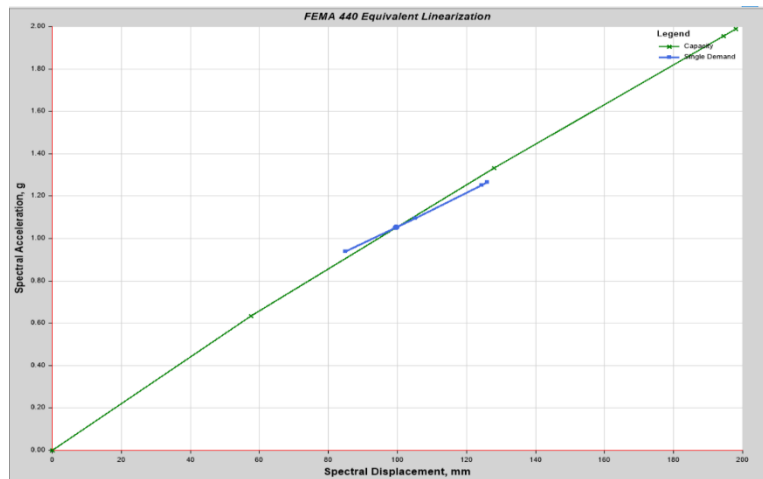
Gambar 4. Proses terjadinya sendi plastis (a) step 1; (b) step 2; (c) step 3; (d) step 4

Tabel 8 berikut adalah distribusi sendi plastis pada setiap step.

Tabel 8. Distribusi sendi plastis

Step	Displ. (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	402	0	0	0	0	402	0	0	0	402
1	87,898	17929,689	401	1	0	0	0	402	0	0	0	402
2	196,266	37761,399	373	29	0	0	0	394	5	0	3	402
3	298,326	55459,498	357	45	0	0	0	381	18	0	3	402
4	303,726	56388,661	356	46	0	0	0	381	18	0	3	402

Dalam mencari performance point, digunakan metode spektrum kapasitas. Hal ini dilakukan dengan cara memplotkan demand respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan vs spektral perpindahan atau disebut sebagai format acceleration displacement response spectra (ADRS). Dari dua kurva tersebut diperoleh titik perpotongan kurva yang merupakan titik kinerja (performance point) struktur, seperti terlihat pada Gambar 5. Nilai yang diperoleh dari performance point disajikan dalam Tabel 10.



Gambar 5. Kurva performance point

Tabel 9. Nilai performance point

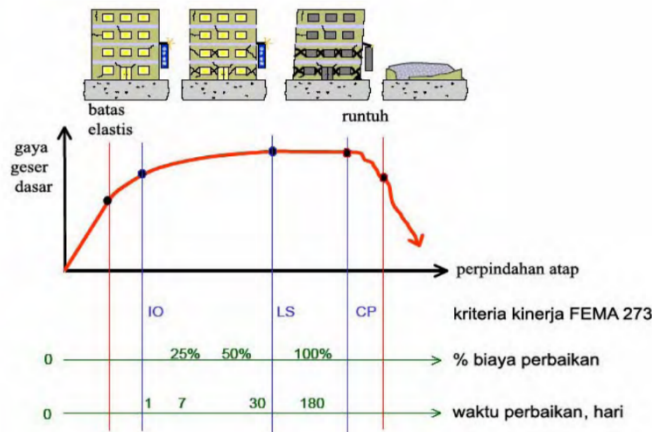
Parameter	Nilai
V	29787,197 kN
D	152,692 mm
Sa	1,0524 g
Sd	99,616 mm
T eff	0,687 detik
Ductility Ratio	1,732
Damping Ratio	0,0819

Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan nilai displacement (D) yang diperoleh dari performance point. Syarat yang digunakan untuk menentukan level kinerja adalah ATC-40 [7]. Rasio simpangan total maksimum adalah :

$$Level = \frac{D}{H} = \frac{152,692}{15000} = 0,0101 \dots \dots \dots (Damage Control)$$

Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori Damage Control (DO) yang berarti transisi antara Immediate Occupancy (IO) SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Gambar 6 berikut memberikan ilustrasi tentang taraf kinerja struktur berdasarkan peraturan FEMA 273:1997 [8].



Gambar 6. Ilustrasi Taraf Kinerja Struktur (FEMA 273:1997 [8])

KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa bangunan baja eksisting (bangunan parkir) sebagai berikut: a.) Berdasarkan analisis respon spektral dengan bantuan program ETABS v.21, bangunan tersebut telah dapat diandalkan terhadap peraturan terkini. b.) Model struktur bangunan diuji faktor ketidakteraturan horizontal dan vertikal, perbedaan tingkat, efek P-Delta, rasio tegangan elemen balok dan kolom, rasio Kuat Kolom-Balok Lemah (SC-WB) dan tingkat kinerja struktur melalui analisis pushover, semuanya memenuhi persyaratan. c.) Tingkat kinerja yang diperoleh adalah Damage Control (DO) yang berarti bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.

REFERENSI

[1] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover," Civil Engineering national Conference, Unika Semarang, 2005.
 [2] F. Nugroho, "Penerapan Analisis Pushover Untuk Menentukan Kinerja Struktur Pada Bangunan Eksisting Gedung Beton Bertulang". Jurnal Momentum, vol. 18, p.19-25, 2016.
 [3] D. Yahmi, T. Branci, A. Bouchair and E. Fournely, "Evaluation of Behaviour Factors of Steel Moment-Resisting Frames Using Standard Pushover Method," *Procedia Engineering*, vol. 199, p. 397-403, 2017.

-
- [4] BSN, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung," Badan Standardisasi Nasional - Indonesia, SNI-1726, 2019.
- [5] BSN, "Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung," Badan Standardisasi Nasional - Indonesia, SNI-7860, 2020.
- [6] D. Sukamta and J. Alexander, "Perancangan Fasilitas Pendukung Gedung Cagar Budaya di Indonesia Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 1729:2020, SNI 7860:2020 & SNI 7972:2000," in *Seminar HAKI*, Jakarta, 2022: HAKI.
- [7] ATC-40, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", ATC-40, Vol.1, California, 1996.
- [8] Federal Emergency Management Agency, "NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 273, Washington, 1997.