



EVALUASI TINGKAT KELAYAKAN STRUKTUR GEDUNG EKSTING 8 LANTAI DI KOTA SEMARANG

Lintang Enggartiasto[✉], Faizal Mahmud, Kukuh Wisnuaji Widiatmoko

Universitas Semarang, Indonesia

DOI: 10.26623/teknika.v18i1.6469

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit 6 Juli 2019

Direvisi 11 Agustus 2019

Disetujui 1 Oktober 2019

Keywords:

Material Test ; Concrete ;

Performance Level

Abstrak

Indonesia merupakan daerah dengan resiko kejadian gempa bumi yang tinggi dimana perencanaan bangunan tahan gempa menjadi sangat penting. Penelitian ini membahas tentang evaluasi tingkat kelayakan struktur terhadap gedung bertingkat eksisting 8 tingkat, yang bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur terhadap standar yang terbaru. Metode yang digunakan adalah pengujian tidak merusak pada beton dengan *Rebound Hammer*. Analisis terdiri dari evaluasi terhadap kondisi material, sistem struktur, dan analisis struktur menggunakan standar beban yang terbaru. Hasil pengujian material struktur eksisting menunjukkan bahwa kuat tekan beton masih memenuhi persyaratan beton tahan gempa berdasarkan SNI-2847-2019. Hasil evaluasi struktur terhadap beban gempa menunjukkan gaya geser nominal kumulatif, simpangan antar lantai dan efek P – Delta sudah memenuhi persyaratan dalam SNI 1726-2019. Hasil analisis juga menunjukkan adanya ketidakteraturan horizontal struktur 1A dan 1B arah X, namun tidak ditemukan ketidakteraturan vertikal disetiap tingkat. Level kinerja struktur eksisting termasuk kategori *Immediate Occupancy* setelah terjadi beban gempa. Hasil level kinerja struktur tersebut menunjukkan bangunan masih dapat berfungsi meskipun dengan kerusakan ringan.

Abstract

Indonesia is an area with high earthquake risk where earthquake resistant design is very important. This study discuss about an evaluation of structure feasibility on the existing 8-storey building, which aims to determine the performance level against the most recent standards. The method implemented is non-destructive testing on concrete with *Rebound Hammer*. The analysis consists of an evaluation about the condition of the materials, structural system, and analysis of the structure implementing the most recent load standards. The test results of the existing structural materials show that the compressive strength characteristic on the concrete still meet the requirements in accordance with SNI-2847-2019. The results of the evaluation of the structure against earthquake loads show that the cumulative nominal shear force, the story drift and the P-Delta still meets the requirements in SNI 1726-2019. The results of the analysis also show that there are horizontal irregularities in structures 1A and 1B in the X direction, but the vertical irregularities are not found at each level. The performance level of the existing structure is the *Immediate Occupancy* category after an earthquake load. The results of the structure's performance level show that the building can still function even with minor damage.

[✉] Alamat Korespondensi:

E-mail: lintangenggartiasto@usm.ac.id

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang secara geologis berdiri diatas lima lempeng tektonik aktif yang ditandai dengan gempa bumi berkekuatan ringan hingga kuat sering terjadi pada beberapa wilayah di Indonesia. Berdasarkan kondisi tersebut perencanaan struktur tahan gempa sangat penting dilakukan untuk menciptakan rasa aman dan nyaman bagi pengguna bangunan. Bangunan gedung yang terbangun, umumnya telah melalui tahap kajian terutama pada segi desain strukturnya. Hal ini bertujuan agar perencanaan struktur aman dan memenuhi kaedah teknis yang berlaku (Pradono, 2019). Bangunan gedung harus sesuai peruntukannya dan tidak diizinkan merubah fungsi bangunan tanpa adanya analisa struktur terlebih dahulu agar keamanan struktur terjamin (Nugroho, 2016). Beban gempa dalam perencanaannya ditetapkan dengan kemungkinan terjadi 2% selama 50 tahun umur bangunan (Kencanawati et al., 2020).

Standar perencanaan beban gempa dalam dua dasawarsa terakhir mengalami perubahan yang relatif cepat. Di dalam SNI gempa terbaru (SNI-1726-2019) terdapat beberapa perubahan pada nilai parameter percepatan gempa. Parameter yang berubah diantaranya pada periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1) dan diikuti dengan perubahan pada nilai faktor amplifikasi getaran pada periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v). Konsekuensi dari perubahan tersebut di atas akan mempengaruhi nilai C_s , atau yang sering disebut sebagai koefisien seismik untuk penentuan gaya geser dasar akibat beban gempa. Perubahan penting lainnya adalah bentuk respon spektrum desain, dimana SNI-1726-2019 memperhitungkan adanya periode panjang (T_L). Perubahan tersebut akan mempengaruhi kinerja seismik gedung yang sudah terbangun (Enggartiasto et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut diperlukan evaluasi terhadap kelayakan struktur yang bertujuan memperoleh gambaran mengenai kondisi struktur eksisting terutama apabila ada perubahan fungsi bangunan (Mosleh et al., 2016). Metode yang dapat digunakan dalam evaluasi kelayakan struktur yaitu pengamatan visual dan pengujian tidak merusak pada masing – masing komponen struktur bangunan (Dharmawan et al., 2016). Pengujian lainnya dapat dilakukan dengan analisa struktur bangunan eksisting sesuai standar terbaru untuk mendapatkan level kinerja bangunan gedung (N.S. & Lesmana, 2019). Level kinerja struktur bangunan dapat dinilai sesuai gempa yang direncanakan sehingga dapat digunakan pada analisis dampak terhadap biaya pembangunan maupun perbaikan struktur bangunan akibat beban gempa (Ertanto et al., 2017).

Penelitian ini membahas tentang evaluasi tingkat kelayakan gedung struktur eksisting, yang telah dibangun sejak tahun 1990. Gedung eksisting tersebut tersusun atas material beton bertulang, terdiri atas 8 lantai tingkat dan berada di kota Semarang (Gambar 1). Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi material struktur dan kinerja seismik struktur jika ditinjau menggunakan SNI gempa terbaru sehingga dapat diketahui kelayakan struktur berdasarkan hasil level kinerja seismik.



Gambar 1. Gedung yang ditinjau

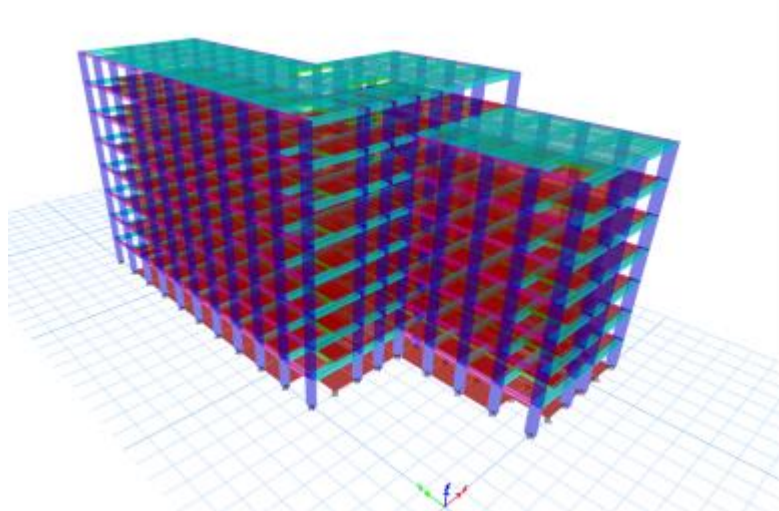
METODE

Penyelidikan Material

Gedung yang ditinjau secara dominan tersusun atas beton bertulang, maka perlu dilakukan pengujian material untuk memastikan kondisi dan kualitas material eksisting untuk kepentingan analisis, mengingat struktur gedung terbangun sejak awal 1990 sehingga dikhawatirkan terdapat penurunan mutu material akibat faktor usia bangunan. Penyelidikan mutu beton dilakukan dengan metode *hammer test* yang bersifat tidak merusak. Baja tulangan diasumsikan menggunakan mutu yang berlaku saat perencanaan awal gedung atau peraturan yang berlaku saat itu dengan baja tulangan ulir U-39 sebagai tulangan longitudinal dan baja tulangan polos U24 sebagai tulangan geser.

Analisa Gaya Gempa dan Pemodelan Struktur

Gedung yang ditinjau seperti Gambar 1 di atas, dimodelkan menggunakan *software ETABS V.20.0.0* yang diperlihatkan pada Gambar 2. Berdasarkan pasal 4.1.1 SNI 1726 2019 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 2%. Bangunan didefinisikan sesuai jenis pemanfaatan bangunan untuk mengetahui kategori resiko bangunan tersebut. Kelas situs ditentukan berdasarkan data geoteknik minimum sedalam 30 meter sesuai pasal 5.1 SNI 1726 2019. Penentuan kelas situs dibagi menjadi beberapa kelas meliputi kelas situs batuan keras (*SA*), batuan (*SB*), tanah keras (*SC*), tanah sedang (*SD*), tanah lunak (*SE*), dan tanah berspesifikasi khusus (*SF*) sesuai pasal 5.3 SNI 1726 2019.



Gambar 2. Model 3 Dimensi Bangunan

Parameter Percepatan Gempa

Parameter percepatan gempa didefinisikan sebagai parameter gempa rencana dengan kala ulang 2500 tahun. Level gempa menggunakan gempa 2500 tahun, dengan 2% kemungkinan gempa rencana terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan. Pada evaluasi tingkat kelayakan struktur bangunan ini, beban gempa dihitung menggunakan metode analisis linear dinamik respons spektra dengan data percepatan gempa yang diperoleh dari *website* rsa.ciptakarya.pu.go.id sesuai dengan koordinat lokasi yang diambil, yakni Kota Semarang. Parameter – parameter yang digunakan dalam analisis respons spektra terdiri dari: kelas situs *SE* (Tanah Lunak berdasarkan hasil pengujian tanah), $S_s = 0.812 g$, $S_1 = 0.357 g$, $S_{ds} = 0.676 g$, $S_{d1} = 0.0.613g$, Faktor keutamaan bangunan, I_e , : 1.0, kategori resiko : tipe II (bangunan umum).

Penentuan nilai faktor skala dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$\text{Faktor skala} = \frac{g \times I_e}{R} \quad (1)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} g &= \text{percepatan gravitasi} = 9.8 \text{ m/s}^2 \\ I_e &= \text{Faktor keutamaan} = 1.0 \\ R &= \text{Faktor reduksi gempa} = 8 \end{aligned}$$

Dengan demikian,

$$\text{Faktor skala} = \frac{9.81 \times 1.0}{8} = 1.226$$

Kategori Desain Seismik (*KDS*) ditentukan sesuai SNI 1726 2019 pasal 6.5. Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , bangunan yang ditinjau termasuk *KDS* "D". Selanjutnya system struktur ditentukan sesuai *KDS* yaitu sistem rangka pemikul momen khusus, dimana kombinasi parameter sistem struktur yang digunakan sesuai tabel 12 SNI 1726 2019 pasal 7.2.2. Kriteria pemodelan yang dilakukan sesuai SNI 1726 2019 pasal 7.7, dimana dalam pemodelan tiga dimensi struktur minimum tiga derajat kebebasan yang terdiri dari translasi pada dua arah orthogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal disetiap tingkat struktur yang ditinjau. Periode desain ditentukan tidak kurang dari periode minimum (T_a) dan melebihi periode maksimum ($C_u \cdot T_a$) struktur yang ditentukan sesuai jenis sistem struktur yang ditinjau. Gaya geser dasar dari analisis lateral ekuivalen V ditentukan sesuai persamaan :

$$V = C_s \times W \quad (2)$$

dimana V , C_s dan W masing-masing adalah gaya geser dasar seismik, koefisien respons seismik dan berat seismik efektif. Selanjutnya dalam analisis linear dinamik respons spektrum, harus menyertakan jumlah ragam untuk mendapatkan partisipasi massa minimal 100% dari massa struktur.

Bila perioda fundamental hasil perhitungan melebihi nilai periode maksimum, maka nilai periode maksimum harus digunakan sebagai periode desain dalam arah tersebut. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam (V_t) kurang dari 100% dari geser dasar yang dihitung melalui metode statik ekuivalen (V), maka gaya geser dasar tadi harus dikalikan dengan (V/V_t).

Dalam analisis linear dinamik respons spektrum, besaran simpangan lantai yang terjadi harus dikalikan dengan (C_d/I), dimana C_d adalah faktor pembesaran defleksi. Simpangan antar lantai yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin yang ditentukan pada SNI 1726 2019 pasal 7.12.1 tabel 20. Pada kontrol kestabilan struktur terhadap efek P – Delta diperhitungkan sesuai SNI 1726 2019 pasal 7.8.7 sebagai berikut:

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta_s \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \quad (3)$$

dimana P_x , Δ_s , I_e , V , h_{sx} dan C_d berturut-turut adalah beban aksial tanpa faktor beban, simpangan antar lantai, faktor keutamaan bangunan, gaya geser antar tingkat, tinggi tingkat dan faktor pembesaran defleksi

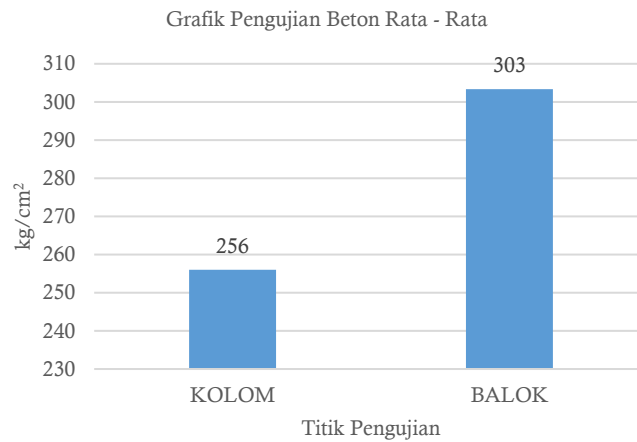
Lebih pada evaluasi tingkat kelayakan struktur eksisting ini sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2 struktur harus ditinjau ketidakaturan konfigurasi struktur dalam arah horizontal dan vertikal. Ketidakaturan horizontal struktur yang ditinjau meliputi Tipe 1A dan 1B. Ketidakaturan vertical didefinisikan sebagai Tipe 1A, 1B, 5A, 5B. Analisis terhadap ketidakaturan tersebut akan berpengaruh pada jenis prosedur analisis yang diizinkan sesuai tabel 16 SNI 1726 2019.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material

Kuat tekan beton hasil pengujian terhadap struktur kolom dan balok dihasilkan kuat tekan beton karakteristik rata-rata yang diperlihatkan pada Gambar 3. Nilai kuat tekan beton karakteristik pada Gambar 3 menunjukkan mutu minimum beton untuk klasifikasi bangunan tahan gempa telah terpenuhi atau lebih besar dari $K - 250 \text{ kg/cm}^2$ yang setara $f_c' 21 \text{ MPa}$ sesuai SNI 2847 2019. Dalam

analisis digunakan nilai kuat tekan beton karakteristik $k - 250 \text{ kg/cm}^2$ agar didapat hasil yang lebih konservatif.



Gambar 3. Hasil Kuat Tekan Karakteristik Beton

Parameter Gempa

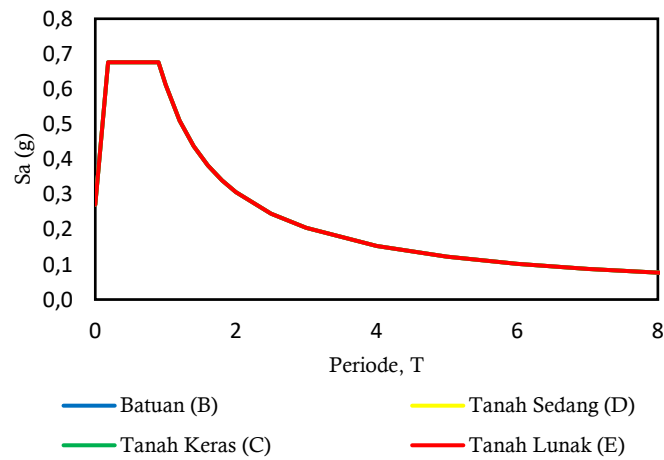
Hasil analisa parameter gempa terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, fundamental period struktur baik untuk arah x maupun arah y masing-masing sebesar 1.556 detik dan 1.933 detik, dimana nilai tersebut berada diatas periode maksimum, sehingga desain gaya gempa menggunakan periode maksimum. Hasil desain spektral percepatan diperlihatkan pada **Gambar 4**.

Tabel 1. Hasil Analisis Parameter Gempa Sesuai SNI 1726 2019

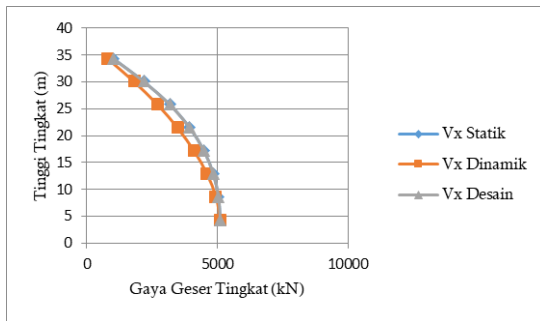
Parameter	Nilai
Kategori Resiko Struktur	II
Faktor keutamaan	1
S_S	0.812
S_I	0.357
Kelas Situs	SE
F_a	1.250
F_v	2.572
S_{DS}	0.676
S_{DI}	0.613
Kategori desain seismik	D
Koefisien Modifikasi Response, R	8
Faktor kuat lebih, Ω_0	3
Faktor pembesaran defleksi, C_d	5.5
Tinggi Bangunan, H_n	32
C_t	0.0466
α	0.9
C_u	1.4
Ta minimum, $C_t \cdot H_n^x$	1.054

Ta maksimum, C_u , T_a	1.476
Tx Model	1.556
Ty Model	1.933

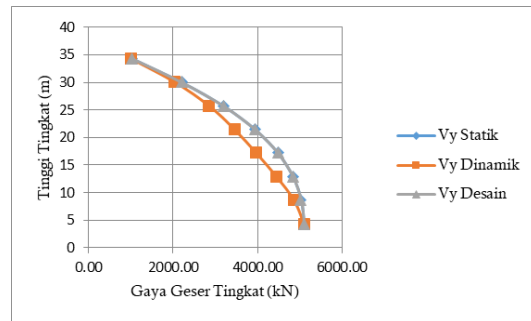
Gambar 5 dan **Gambar 6** menunjukkan gaya geser nominal kumulatif yang terjadi di tiap tingkat dalam arah x maupun arah y. Gaya geser nominal kumulatif desain hasil analisis linear dinamik telah mencapai 100% dari gaya geser nominal kumulatif hasil analisis lateral ekuivalen. Hasil selanjutnya adalah simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur bangunan seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 masih memenuhi persyaratan (arah x dan y), yang masih berada di bawah simpangan antar lantai ijin sesuai SNI 1726 2019.



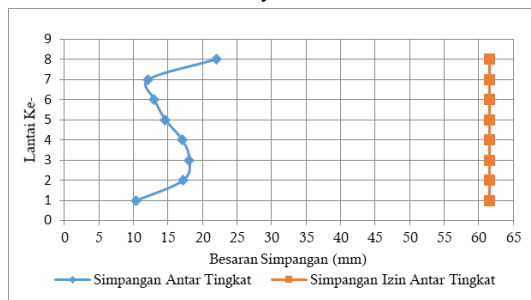
Gambar 4. Spektral Percepatan



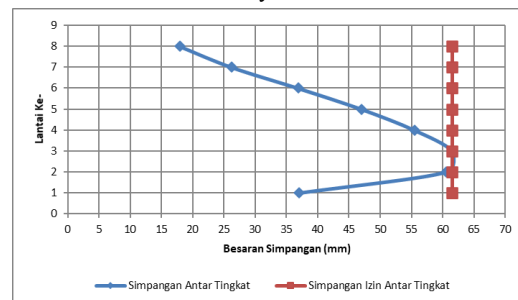
Gambar 5. Gaya Geser Arah X



Gambar 6. Gaya Geser Arah Y

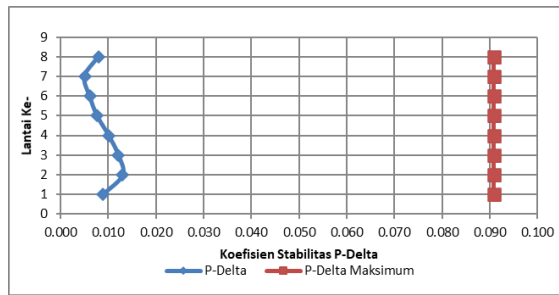


Gambar 7. Simpangan Lantai Arah X

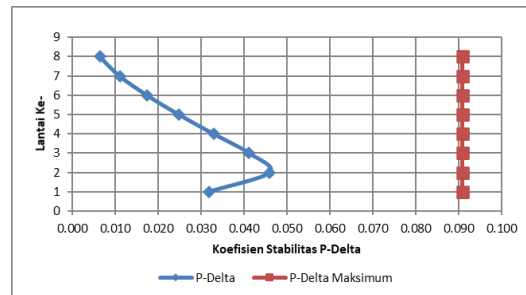


Gambar 8. Simpangan Lantai Arah Y

Hasil analisis terhadap efek P-delta yang ditampilkan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** menunjukkan bahwa struktur masih memenuhi persyaratan kestabilan, dimana koefisien stabilitas arah x maupun arah y masih jauh di bawah batas pengaruh P-delta dan batas stabilitas struktur. Hasil analisis terhadap ketidakberaturan horizontal struktur diperlihatkan pada Tabel 2, yang menunjukkan terdapat ketidakaturan horizontal 1A dan 1B pada arah X, pada arah yang lain ketidakaturan 1A dan 1B tidak ditemukan, hal ini merupakan pengaruh geometri struktur yang termasuk bangunan langsing dan arah X merupakan sumbu lemah bangunan sehingga arah X tersebut cenderung memiliki torsi lebih besar.



Gambar 9. Pengaruh P – Delta Arah X



Gambar 10. Pengaruh P – Delta Arah Y

Tabel 2. Hasil Tinjauan Ketidakaturan Struktur Arah Horizontal 1A dan 1B

Lantai	Rasio Simpangan yang terjadi		Rasio simpangan Ijin	
	Arah X	Arah Y	1A	1B
Lantai 8	1.438	1.018	1.2	1.4
Lantai 7	1.681	1.007	1.2	1.4
Lantai 6	1.657	1.007	1.2	1.4
Lantai 5	1.633	1.008	1.2	1.4
Lantai 4	1.598	1.008	1.2	1.4
Lantai 3	1.58	1.008	1.2	1.4
Lantai 2	1.561	1.008	1.2	1.4
Lantai 1	1.534	1.010	1.2	1.4

Analisis juga dilakukan pada Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, yang didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Tabel 3 menampilkan hasil analisa ketidakberaturan struktur tingkatan lunak, dimana tidak terjadi ketidakberaturan pada semua lantai baik arah x maupun arah y, hal ini menunjukkan kekakuan struktur disetiap tingkat merata atau tidak terjadi perbedaan tingkat kekakuan struktur antar lantai. Lebih lanjut, tidak ditemukan ketidakaturan kuat lateral tingkat seperti diperlihatkan pada tabel 4 yang merupakan kekuatan total semua elemen penahan gaya gempa yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau, ketidakaturan ini didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya.

Tabel 3. Hasil Tinjauan Ketidakaturan Struktur Akibat Perbedaan Kekakuan Antar Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
8	578890,418		243490,535	

7	1044429,203	Tidak Ada	350777,551	Tidak Ada
6	1162016,937	Tidak Ada	371520,331	Tidak Ada
5	1217499,244	Tidak Ada	374019,239	Tidak Ada
4	1279582,388	Tidak Ada	378494,961	Tidak Ada
3	1349690,726	Tidak Ada	388555,572	Tidak Ada
2	1528975,812	Tidak Ada	430466,232	Tidak Ada
1	2622843,259	Tidak Ada	736253,972	Tidak Ada

Tabel 4. Hasil Tinjauan Ketidakteraturan Struktur Akibat Perbedaan Kuat Lateral Antar Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
8	1032,15		1032,15	
7	2200,77	Tidak Ada	2200,77	Tidak Ada
6	3188,3	Tidak Ada	3188,3	Tidak Ada
5	3940,43	Tidak Ada	3940,43	Tidak Ada
4	4483,89	Tidak Ada	4483,89	Tidak Ada
3	4836,85	Tidak Ada	4836,85	Tidak Ada
2	5031,49	Tidak Ada	5031,49	Tidak Ada
1	5099,33	Tidak Ada	5099,33	Tidak Ada

Analisis ketidak beraturan berat (massa) juga dilakukan, dimana Ketidakberaturan tersebut ada jika efektif semua tingkat lebih dari 150% efektif tingkat di atasnya, seperti ditunjukkan pada **Tabel 5**, Ketidak beraturan massa tidak terjadi pada semua lantai.

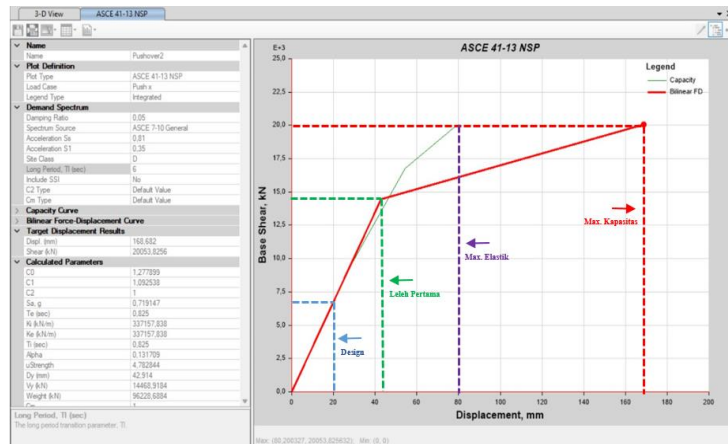
Tabel 5. Hasil Tinjauan Ketidakteraturan Massa Bangunan

Lantai	Massa	Cek
	kg	
8	729579,33	Tidak Ada
7	1163241,57	Tidak Ada
6	1228346,74	Tidak Ada
5	1213226,74	Tidak Ada
4	1228346,74	Tidak Ada
3	1228346,74	Tidak Ada
2	1228346,74	Tidak Ada
1	1228346,74	Tidak Ada

Level Kinerja Struktur

Pada evaluasi tingkat kelayakan struktur gedung eksisting perlu diketahui nilai level kinerja struktur akibat beban gempa. Level kinerja struktur ditentukan dengan metode analisis statik nonlinier (*push over*), yaitu dengan memberikan beban dorong secara bertahap untuk mencari titik perpotongan antara kurva kapasitas spectra (*capacity spectrum method, CSM*) dan kurva respon spectra tereduksi untuk menghitung besaran perpindahan maksimum yang terjadi sampai struktur bangunan tersebut runtuh. Peraturan yang digunakan adalah ASCE 41-13 dan ATC-40. Analisis ditinjau pada sumbu X bangunan

yang merupakan daerah sumbu lemah struktur yang dalam analisis sebelumnya mengalami ketidakteraturan torsi 1A dan 1B, dan paling terdampak apabila terjadi beban gempa.



Gambar 11. Kurva kapasitas pushover dan kurva elastic arah x

Tabel 6. Hasil Tinjauan Ketidakteraturan Massa Bangunan

Titik	V (kN)	D(mm)
Maks. Kapasitas	20000	168,682
Lelehan Pertama	14468,9184	42,914
Desain	7000	20
Maks. Elastik	20000	78

Dari titik ini, parameter desain seperti factor modifikasi respon (R), factor defleksi (C_d), dan factor kuat Ω_0 . Pada awal analisis diasumsikan $R = 8$, $C_d = 5,5$ dan $\Omega_0 = 3$ (Sistem Rangka Beton Pemikul Momen Khusus). Selanjutnya hasil dengan metode perpindahan *Equal Displacement* dari ASCE 41-13 *Non Linear Static Prosedure*, pada metode ini diasumsikan bahwa daktalitas dibutuhkan oleh struktur yang dirancang secara plastis adalah pada titik dimana: perpindahan Ketika struktur elastik ($R = 1$) sama dengan perpindahan ketika struktur plastis. Dengan pengertian tersebut dapat ditentukan nilai R , C_d dan Ω_0 sebagai berikut:

$$R_{\text{actual}} = \frac{V_e}{V_y} = \frac{20000}{14468,9184} = 1,38 > 1 \text{ (OK)}$$

$$C_d = \frac{\Delta_e}{\Delta_y} = \frac{78,5}{42,914} = 1,8 < C_d \text{ desain (OK)}$$

$$\Omega_0 = \frac{V_{\text{capacity}}}{V_y} = \frac{15219,36}{14468,9184} = 1,03 < \Omega_0 \text{ desain (OK)}$$

Dapat dilihat untuk parameter faktor pembesaran defleksi (C_d) dan faktor kuat lebih (Ω_0) actual lebih kecil dari parameternya sehingga struktur masih aman. Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan ATC 40 dengan batas perpindahan sebagai berikut :

$$Immediate\ Occupancy = 0,01$$

$$Damage\ Control = 0,01 - 0,02$$

$$Life\ Safety = 0,02$$

Berdasarkan batas perpindahan tersebut maka tingkat kinerja struktur dapat ditentukan pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Rasio} = \frac{\Delta_d}{H_{\text{total}}} \quad (4)$$

Dimana

Δ_d = perpindahan akhir (mm)

H_{total} = ketinggian total bangunan

Maka :

$$\text{Rasio} = \frac{159,26}{32000} = 0,0049$$

Dengan demikian tingkat kinerja struktur berdasarkan batas perpindahan termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) sehingga bangunan masih dapat difungsikan semestinya setelah terjadi beban gempa dengan kerusakan ringan sehingga mengurangi korban jiwa dan biaya perbaikan struktur.

SIMPULAN

Hasil penyelidikan material terhadap material beton bangunan masih memenuhi syarat material beton tahan gempa sesuai standar berdasarkan SNI-2847-2019, dimana kuat tekan beton karakteristik eksisting sebesar K-250 kg/cm². Hasil kinerja seismik sesuai SNI-1726-2019 menunjukkan hasil gaya geser nominal kumulatif, simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta pada arah x maupun arah y yang terjadi memenuhi persyaratan. Ketidakberaturan horizontal akibat torsi 1A dan 1B terjadi pada arah sumbu X bangunan yang merupakan sumbu lemah bangunan, ketidakaturan vertikal tidak terjadi pada struktur eksisting. Hasil analisis level kinerja struktur dengan metode ASCE 41-13 dan ATC 40 menunjukkan struktur aman dengan kerusakan ringan setelah terjadi beban gempa dengan kategori *immediate Occupancy* untuk gempa dengan kemungkinan terjadi 2% untuk 50 tahun umur bangunan. Dengan level kinerja struktur tersebut, bangunan masih dapat berfungsi dengan kerusakan ringan setelah terjadi gempa sehingga mengurangi korban jiwa dan biaya perbaikan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE 7-16 (2017). "*Minimum Design Loads and Associate Criteria for Buildings and Other Structures*". New York: American Society of Civil Engineers.
- ATC 40 (1996). "*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building*". California Seismic Safety Commission, California.
- Badan Standarisasi Nasional, (1997), *Tentang Peraturan Pengujian Hammer Test*, SNI 03 4430 1997, Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2020), *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya*, SNI 1727 2020, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, (2019), *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, SNI 2847 2019, Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2019), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726 2019, Jakarta
- Bambang, B., N.Y.T.H. Dewi, M. Kristalya, S.L.C. Manik, dan E.H.K. Ong, (2017), *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa : Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta*, ITB Press, Bandung.
- Dharmawan, W. I., Oktarina, D., & Safitri, M. (2016). *Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan Hammer Test dan Compression Testing Machine terhadap Beton Pasca Bakar*. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(1), 35. <https://doi.org/10.14710/mkts.v22i1.12404>
- Enggartiaso, L., Cholida, N. F. F., & Purwanto, P. (2022). Performance of The Existing Building Under Earthquake Loads Based on Current Indonesian National Standard. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, 5(2), 94. <https://doi.org/10.30659/jacee.5.2.94-102>
- Ertanto, B. C., Satyarno, I., & Suhendro, B. (2017). Performance Based Design Bangunan Gedung Untuk Level Kinerja Operasional. *Performance Based Design Bangunan Gedung Untuk Level Kinerja Operasional*, 13(2), 189–204.
- Kencanawati, N. N., Agustawijaya, D. S., & Taruna, R. M. (2020). An investigation of building seismic design parameters in mataram city using lombok earthquake 2018 ground motion. *Journal of Engineering and*

- Technological Sciences*, 52(5), 651–664. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.5.4>
- Mosleh, A., Rodrigues, H., Varum, H., Costa, A., & Arêde, A. (2016). Seismic behavior of rc building structures designed according to current codes. *Structures*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.04.001>
- N.S., A. P., & Lesmana, C. (2019). Analisis Kelayakan Struktur Bangunan Publik 5 Lantai di Kota Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 180–199. <https://doi.org/10.28932/jts.v14i2.1799>
- Nugroho, F. (2016). Penerapan Analisis Pushover Untukmenentukan Kinerja Struktur Padabangunan Eksisting Gedung Beton Bertulang. *Jurnal Momentum*, 18(2), 19–25. <https://doi.org/10.21063/jm.2016.v18.2.19-25>
- Pradono, M. H. (2019). *Kajian Penerapan Standar Tahan Gempa Pada Application Assessment of the Seismic Resistant Standard on the Evaluation of Existing Structures*. 3(1), 1–9.