

ASESMEN KEKUATAN DAN TINGKAT KELAYAKAN STRUKTUR GEDUNG LAMA MENGGUNAKAN STANDAR TERBARU

Lintang Enggartiasto¹ dan Antonius²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Semarang, INDONESIA

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, INDONESIA

¹Email: lintangenggartiasto@usm.ac.id

ABSTRAK

Struktur gedung yang dirancang dan dibangun sebelum tahun 1980-an pada umumnya masih menggunakan peraturan yang berlaku pada waktu tersebut, misalnya untuk pembebanan menggunakan PMI'71 dan struktur beton bertulang menggunakan PBI '71. Perencanaan struktur gedung terhadap beban gempa sebelum tahun 1987 pada waktu itu juga masih menggunakan standar yang lama. Di dalam paper ini akan dipresentasikan mengenai asesmen struktur bangunan lama yang mempunyai 5 tingkat (dibangun tahun 1980-an), dimana gedung tersebut dalam kenyataannya selama kurun waktu lima tahun terakhir relatif tidak digunakan. Gedung tersebut terbuat dari beton bertulang, dan secara visual masih terlihat baik namun di beberapa bagian struktur ditemui mengalami pelapukan atau lendutan meskipun tidak signifikan. Oleh sebab itu perlu dilakukan asesmen terhadap struktur eksisting guna mengetahui kekuatan maupun tingkat kelayakannya apabila gedung tersebut akan digunakan kembali. Asesmen dimulai dengan pengumpulan beberapa gambar as-built drawing, beberapa sampel pengujian struktur maupun pengujian tanah untuk mendapatkan data sebanyak mungkin untuk digunakan dalam analisis struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur atas gedung masih aman digunakan apabila digunakan standar yang berlaku saat ini seperti SNI-1727-2020, SNI-2847-2019 dan SNI-1726-2019, namun dengan rekomendasi bahwa perlu perkuatan terlebih dahulu di beberapa bagian komponen sebelum gedung digunakan.

KATA KUNCI : asesmen, pengujian, struktur beton, analisa gempa

ASESMEN KEKUATAN DAN TINGKAT KELAYAKAN STRUKTUR GEDUNG LAMA MENGGUNAKAN STANDAR TERBARU

Lintang Enggartiasto¹ dan Antonius²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Semarang, Semarang, INDONESIA

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, INDONESIA

¹Email: lintangenggartiasto@usm.ac.id

1 PENDAHULUAN

Tujuan utama penilaian struktur adalah untuk mendapatkan gambaran yang realistis mengenai kondisi struktur yang sedang dikaji. Hal-hal yang dinilai diantaranya adalah kemampuan layanan dan durabilitas. Prosedur penilaian dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan teknis pada pekerjaan penilaian yang sedang dilakukan. Penilaian struktur beton bertulang eksisting sangat diperlukan jika terjadi perubahan fungsi/penggunaan struktur maupun perubahan standar (Mosleh et al., 2016).

Perubahan standar yang terjadi di Indonesia relative cepat dalam kurun waktu dua dasawarsa terakhir. Di dalam SNI gempa terbaru (SNI-1726-2019) terdapat perubahan nilai parameter dari parameter di dalam standar sebelumnya. Perubahan tersebut diantaranya percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek (S_S) dan nilai parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik (S_1). Perubahan tersebut mempengaruhi nilai parameter percepatan respon spektral pada periode pendek maupun nilai percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang masing-masing disebut sebagai S_{DS} dan S_{M1} . Perubahan lainnya adalah nilai S_{DS} dan S_{D1} yang didefinisikan sebagai parameter percepatan respons spektral pada periode pendek dan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik. Perubahan lainnya adalah koefisien situs untuk periode pendek pada periode 0,2 detik (F_a) maupun koefisien situs untuk periode panjang pada 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. Perubahan penting lainnya adalah bentuk respon spektrum desain, dimana SNI-1726-2019 mengakomodasi adanya periode panjang pada struktur jika struktur masuk kategori bangunan langsing. Dengan adanya perubahan tersebut analisa struktur terhadap beban gempa menggunakan standar terbaru menjadi sangat penting, karena akan mempengaruhi kinerja seismik dan stabilitas struktur eksisting.

Paper ini menyajikan tentang asesmen struktur eksisting, yang telah dibangun sekitar tahun 1980. Gedung tersebut terbuat dari material beton bertulang, mempunyai jumlah lantai 5 dan berada di kota Semarang (Gambar 1). Berdasarkan riwayatnya gedung eksisting tersebut dirancang menggunakan standar yang lama atau berlaku saat gedung tersebut dibangun. Dalam perjalanannya, gedung tersebut difungsikan untuk perkantoran. Namun dalam kurun waktu tujuh tahun terakhir gedung tersebut tidak difungsikan dan kurang perawatan, sehingga secara visual pada beberapa bagian mengalami pelapukan dan kebocoran. Oleh pihak owner, gedung tersebut akan digunakan kembali untuk tempat/sarana pendidikan. Namun dengan kondisi eksisting secara visual, timbul keraguan akan kemampuan struktur gedung tersebut apabila akan digunakan kembali. Selain itu perubahan standar (terutama standar gempa) juga menimbulkan pertanyaan sampai seberapa besar kinerja seismic gedung tersebut jika menggunakan standar terbaru. Oleh sebab itu gedung sangat perlu diketahui tingkat keamanannya jika dihitung menggunakan standar terbaru

karena akan mempengaruhi kapasitas penampang atau struktur secara keseluruhan. Paper ini menyajikan penilaian terhadap kinerja struktur gedung eksisting dengan menggunakan standar terbaru, dimana pembahasan dibatasi hanya terhadap kinerja seismik.



Gambar 1: Gedung eksisting yang ditinjau

II METODOLOGI

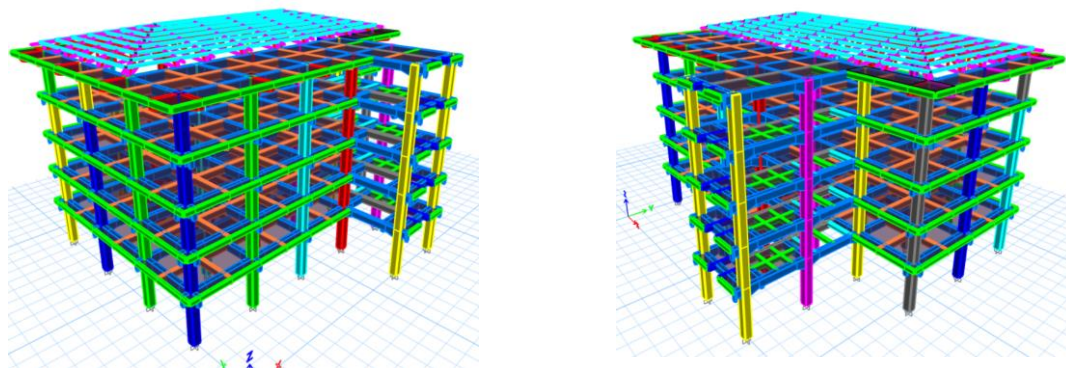
2.1. Penyelidikan Material dan pemodelan Struktur

Gedung yang ditinjau terbuat dari beton bertulang. Meskipun data berdasarkan As built Drawing tersedia, namun perlu dilakukan pengujian material untuk memastikan kondisi dan kualitas material eksisting untuk kepentingan analisis. Penyelidikan mutu beton dilakukan dengan metode kombinasi core drill dan hammer test. Untuk mengetahui mutu baja tulangan diambil beberapa sampel dan dilakukan uji tarik.

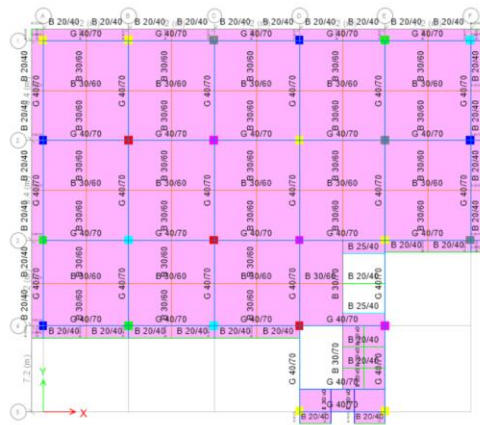
2.2. Analisa Gempa

2.2.1. Pembebanan dan Pemodelan

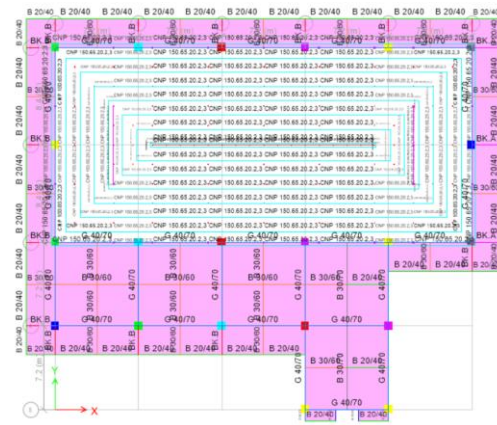
Pembebanan struktur mengacu pada SNI-1727-2020 dan ASCE-7-16 [10,11]. Garis besar tata cara analisa struktur gedung terhadap gempa mengacu pada pustaka [12,13,14,15]. Gedung yang ditinjau seperti Gambar 1 di atas, dimodelkan menggunakan bantuan software yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Berdasarkan pasal 4.1.1 SNI 1726 2019, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besaran selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 2%. Bangunan didefinisikan sesuai jenis pemanfaatan bangunan untuk mengetahui kategori resiko bangunan tersebut (pasal 4.1.1 SNI 1726 2019). Kelas situs ditentukan berdasarkan data geoteknik minimum sedalam 30 meter sesuai pasal 5.1 SNI 1726 2019. Pendefinisian kelas situs dibagi menjadi beberapa kelas meliputi kelas situ SA, SB, SC, SD, SE, dan SF sesuai pasal 5.3 SNI 1726 2019.



Gambar 2 : Model 3D



Denah Tipikal Lantai 1 – Lantai 5



Denah Atap

Gambar 3. Denah struktur bangunan

2.2.2. Parameter Percepatan Gempa

Level gempa menggunakan gempa 2500 tahun, yakni 2% kemungkinan gempa rencana terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan. Dalam evaluasi struktur bangunan ini, pembebanan gempa yang digunakan untuk analisis adalah analisis respon spektra dengan data pada lokasi struktur bangunan, yakni Semarang. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak ETABS. Parameter yang digunakan dalam analisis respons spektra diperoleh berdasarkan data dari *website* Department of Public Works sesuai dengan koordinat lokasi yang diambil.

Parameter – parameter yang digunakan dalam analisis respons spektra terdiri dari: kelas situs D (tanah lunak berdasarkan hasil pengujian tanah), $S_s = 0.811g$, $S_{D1} = 0.357g$, $F_a : 1.239$, $F_v : 2.562$, $S_{DS} : 0.67$, $S_{D1} : 0.61$, Faktor keutamaan bangunan, $I_e : 1.5$, kategori resiko : tipe IV (fasilitas pendidikan). Berdasarkan respons spektra desain tersebut, dilakukan analisis dengan menggunakan nilai faktor skala sesuai dengan persamaan berikut :

$$\text{Scale Factor} = \frac{g \times I_e}{R} \quad (1)$$

where :

- g = percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)
- I_e = Faktor keutamaan = 1.5
- R = Faktor reduksi gempa = 8

Dengan demikian,

$$\text{Scale Factor} = \frac{9.81 \times 1.5}{8} = 1.839$$

Berdasarkan SNI 1726 2019, nilai akhir respon dinamik struktur bangunan terhadap beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh kurang dari 100% nilai respon ragam yang pertama. Selain itu analisa harus menyertakan jumlah ragam untuk mendapatkan partisipasi massa 100% dari massa struktur.

Kategori Desain Seismik ditentukan menurut SNI 1726 2019 pasal 6.5. Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , Bangunan yang ditinjau termasuk Kategori Desain Seismik D. Selanjutnya system struktur ditentukan sesuai KDS yaitu Sistem Rangka Beton Pemikul Momen Khusus, dimana beberapa parameter diambil berdasarkan SNI 1726 2019 pasal 7.2.2. Prosedur analisis yang dilakukan sesuai kategori desain seismik dan spesifikasi bangunan menurut SNI 1726 2019 pasal 7.7. Periode desain ditentukan tidak kurang dari periode minimum dan tidak melebihi periode maksimum struktur yang ditentukan sesuai jenis sistem struktur. Percepatan periode 1 detik (S_{D1}) dan ketinggian bangunan dihitung menurut SNI 1726 2019 pasal 7.8.2. Gaya geser dasar seismik V ditentukan sesuai persamaan :

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

dimana V , C_s dan W masing-masing adalah gaya geser dasar seismic, koefisien respons seismic dan berat seismic efektif. Analisa yang dilakukan menyertakan jumlah ragam untuk mendapatkan partisipasi massa minimal 100% dari massa struktur.

Bila perioda fundamental hasil perhitungan melebihi nilai $T_{max}=C_u.T_a$, dimana C_u adalah koefisien untuk batas atas dan T_a adalah perioda fundamental pendekatan, maka nilai T_{max} harus digunakan sebagai pengganti fundamental period dalam arah tersebut. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam (V_t) kurang dari 100% dari geser dasar yang dihitung melalui metode static ekuivalen (V), maka gaya geser dasar tadi harus dikalikan dengan (V/V_t). Dalam kalkulasi respon spectrum, parameter respons gaya dikalikan dengan (I/R), dimana I adalah faktor keutamaan bangunan dan R adalah koefisien modifikasi respons. Besaran simpangan 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. Kontrol kestabilan struktur terhadap efek P – Delta diperhitungkan sesuai SNI 1726 2019 pasal 7.8.7 sebagai berikut:

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

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 lanjut SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2 menjelaskan bahwa struktur harus diklasifikasikan sebagai beraturan dan tidak beraturan. Ketidakteraturan struktur meliputi ketidakteraturan horizontal dan vertical. Ketidakteraturan horizontal struktur yang ditinjau meliputi Tipe 1A dan 1B. Ketidakteraturan vertical didefinisikan sebagai Tipe 1A, 1B, 5A, 5B.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Material

Di dalam asesmen ini, kualitas material beton dilakukan dengan metode Hammer test sebagai metode pendekatan, dan metode Core Drill. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut maka digunakan hasil yang lebih realistik yaitu hasil dari metode Core Drill. Kuat tekan beton hasil core drill terlihat pada Gambar 4. Kuat tekan beton rata-rata yang dihasilkan adalah 24 MPa. Nilai tersebut berada di atas ketentuan kuat tekan minimum untuk material beton tahan gempa yang disyaratkan dalam SNI-2847-2019 yaitu 21 MPa. Berdasarkan gambar tersebut maka secara konservatif untuk analisa struktur diambil nilai kuat tekan beton (f_c') sebesar 21 MPa. Tulangan baja yang digunakan dan diambil sampel untuk uji tarik semuanya baja ulir diameter 10, 16, 19. Hasil uji Tarik menghasilkan nilai tegangan leleh baja (f_y) berada di kisaran 400 MPa.

Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	Bobot isi (kg/cm ³)	l/d	Faktor koreksi l/d	Faktor koreksi Diameter	Faktor koreksi Drilling	Daya tekan (kgf)	Kuat tekan silinder (kgf/cm ²)	Kuat tekan kubus 28hr (kg/cm ²)
5.50	11.00	23.746	261	0.659	0.0025	2.000	1.000	0.917	1.060	7203.350	350.652	422.472
5.50	10.50	23.746	249	0.575	0.0023	1.909	0.990	0.917	1.060	5504.270	265.263	319.594
5.50	6.50	23.746	154	0.301	0.0020	1.182	0.930	0.917	1.060	5633.470	255.035	307.272
5.50	11.00	23.746	261	0.514	0.0020	2.000	1.000	0.917	1.060	3898.290	189.765	228.632
5.50	10.50	23.746	249	0.542	0.0022	1.909	0.990	0.917	1.060	2857.980	137.732	165.943

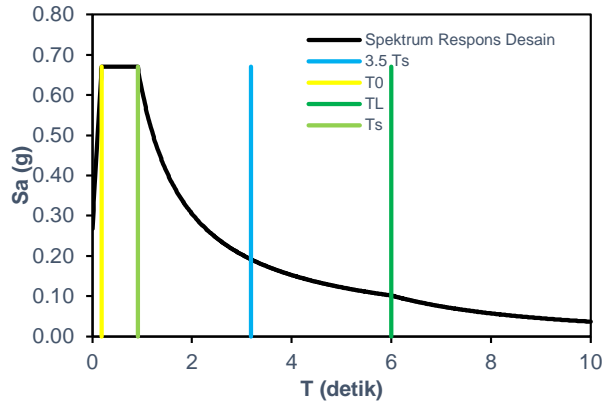
Gambar 4. Hasil core drill

3.2. 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 0.971 dan 0.996, dimana nilai tersebut masih berada diantara batas fundamental period minimum dan maksimum. Struktur cukup fleksibel, mengingat fundamental period telah terlampaui dari nilai $3,5T_s$ (Gambar 5).

Tabel 1. Hasil analisa parameter gempa (SNI 1726-2019)

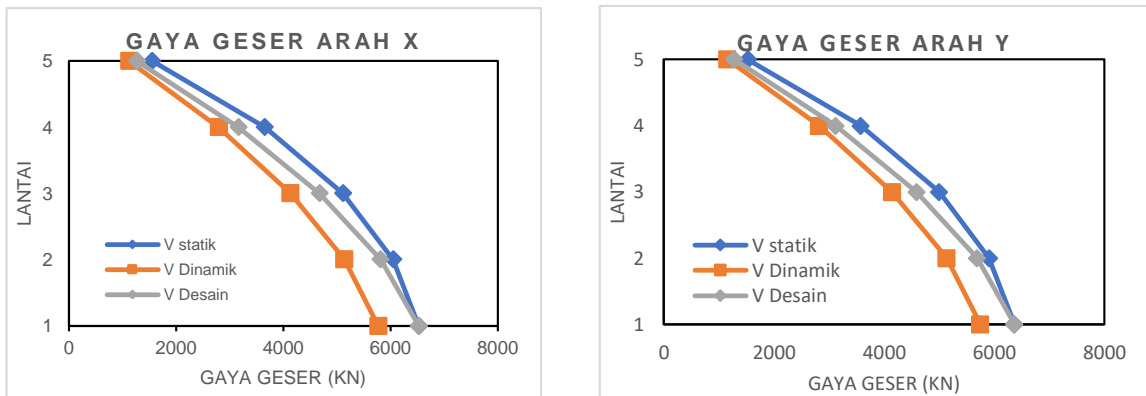
No	Parameter	Nilai	Keterangan
1	Kategori Resiko	IV	Fasilitas Pendidikan
2	Faktor keutamaan	1.5	
Spektral percepatan terpetakan			
3	Ss	0.811	
	S1	0.357	
4	Kelas Situs	SE	
Koefisien Situs			
5	Fa	1.239	Interpolasi
	Fv	2.562	Interpolasi
Spektral respon percepatan			
6	Sds	0.670	
	Sd1	0.610	
7	Kategori desain seismik	D	
8	Koefisien Modifikasi Response, R	8	
9	Faktor kuat lebih, Ω_0	3	
10	Faktor pembesaran defleksi, Cd	5.5	
Periode Struktur			
Tinggi Bangunan			
11	Ct	0.0466	Beton bertulang
	x	0.9	
	Cu	1.4	
	T batas bawah	0.783	
	T batas atas	1.097	
	Tx Model	0.971	Digunakan
	Ty Model	0.996	Digunakan
	Analisis Statik Ekuivalen		
Koefisien Respons Seismik (Cs)			
12	Cs, Sds / (R/I)	0.126	
	Csx, Sd1 / (T*(R/I))	0.118	
	Csy, Sd1 / (T*(R/I))	0.115	
	Cs min, $0.044 \cdot Sds \cdot I_e$	0.044	
	Kx, $0.5 < T < 2.5$	1.236	
	Ky, $0.5 < T < 2.5$	1.248	



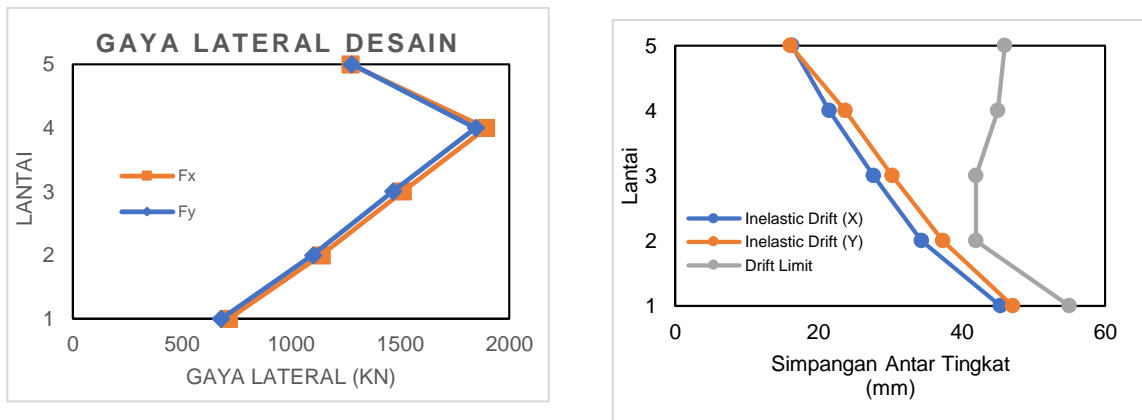
Gambar 5. Respon spektrum

3.3. Gaya Geser Nominal dan Gaya lateral

Gambar 6 adalah besarnya gaya geser dasar (base shear) yang terjadi di tiap tingkat dalam arah x maupun arah y. Base shear desain ditunjukkan pula pada gambar tersebut, dan secara umum menunjukkan bahwa distribusi base shear di setiap tingkatnya di kedua arah cukup moderat. Hasil selanjutnya adalah lateral drift yang terjadi pada struktur bangunan seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Lateral drift di setiap tingkat masih memenuhi persyaratan (arah x dan y), yang masih berada di bawah lateral drift limit.



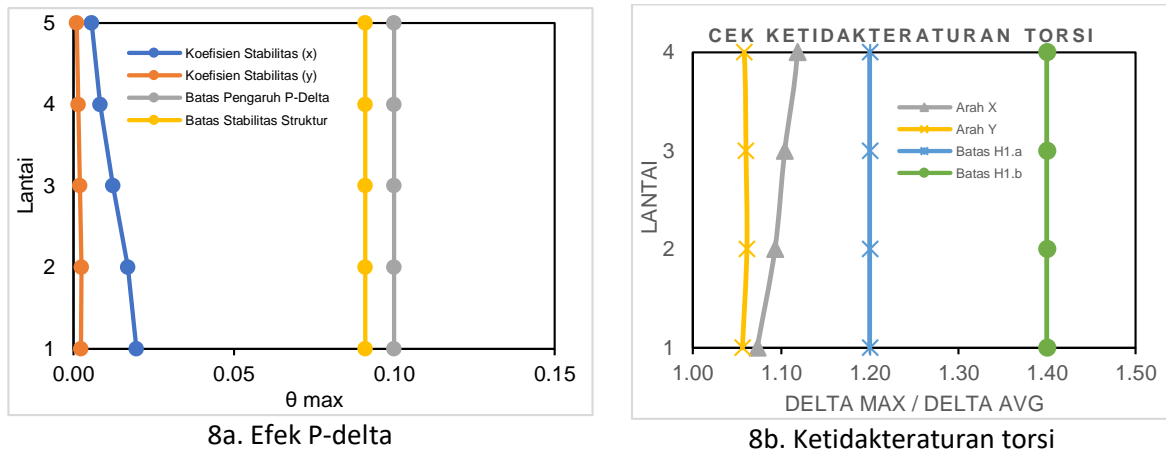
Gambar 6. Gaya Geser Nominal Kumulatif



Gambar 7. Gaya lateral desain dan simpangan antar tingkat

3.4. Efek P-delta dan ketidakberaturan struktur

Hasil analisis efek P-delta yang ditampilkan pada Gambar 8a menunjukkan bahwa struktur masih memenuhi persyaratan, dimana koefisien stabilitas arah x maupun arah y masih jauh di bawah batas pengaruh P-delta dan batas stabilitas struktur. Lebih lanjut hasil analisis terhadap ketidakteraturan torsi diperlihatkan pada Gambar 8b. Terlihat dari Gambar 8b tersebut bahwa struktur masih di bawah batas aman (batas H1.a dan batas H1.b).



Gambar 8. Pengaruh P-delta dan ketidakberaturan struktur

Asesmen struktur eksisting juga dilakukan dengan melakukan pengecekan 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. Table 2 menampilkan hasil analisa ketidakberaturan struktur tingkatan lunak, dimana tidak terjadi ketidakberaturan pada semua lantai baik arah x maupun arah y. Hasil asesmen lainnya adalah tidak terjadi ketidakberaturan kuat lateral tingkat arah x maupun arah y (Tabel 3).

Asesmen Ketidak beraturan berat (massa) juga dilakukan, dimana Ketidakberaturan tersebut ada jika efektif semua tingkat lebih dari 150% efektif tingkat di atasnya. Konsekuensi dari hal tersebut atap yang lebih ringan di lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Seperti ditunjukkan pada Tabel 4, Ketidak beraturan massa terjadi pada lantai 3 dan 4,

Tabel 2. Cek ketidakberaturan tingkat lunak

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak				
Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
5	304773.421		267856.396	
4	461051.834	OK	437371.563	OK
3	543814.565	OK	511086.284	OK
2	551815.336	OK	516762.45	OK
1	474748.82	OK	456219.49	OK

Tabel 3. Cek ketidakberaturan kuat lateral tingkat

Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat				
Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
5	1270.94		1277.06	
4	3163.90	OK	3121.88	OK
3	4675.27	OK	4588.70	OK
2	5814.59	OK	5687.79	OK
1	6527.66	OK	6365.77	OK

Tabel 4. Ketidakberaturan massa

Ketidakberaturan Berat (Massa)		
Lantai	Massa kg	Cek
5	700619.8	OK
4	1942015.38	V.2
3	3164811.11	V.2
2	4383109.89	OK
1	5642605.62	OK

3.5. Level kinerja struktur

Untuk menentukan level kinerja struktur, digunakan metode yang sederhana. Metode yang digunakan adalah metode analisis static nonlinier, yaitu mencari perpotongan antara kurva kapasitas spectra (capacity spectrum method, CSM) dan kurva respon spectra tereduksi untuk mengestimasi perpindahan maksimum. Dasar yang digunakan adalah ATC-40 dan FEMA 356.

3.5.1. Level kinerja struktur arah x

Dengan bantuan software diperoleh kurva hubungan antara demand vs capacity arah x seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Berdasarkan hasil plot gaya vs perpindahan, diketahui perpindahan maksimum adalah 337.382 mm, dan tinggi bangunan adalah 23000 mm.

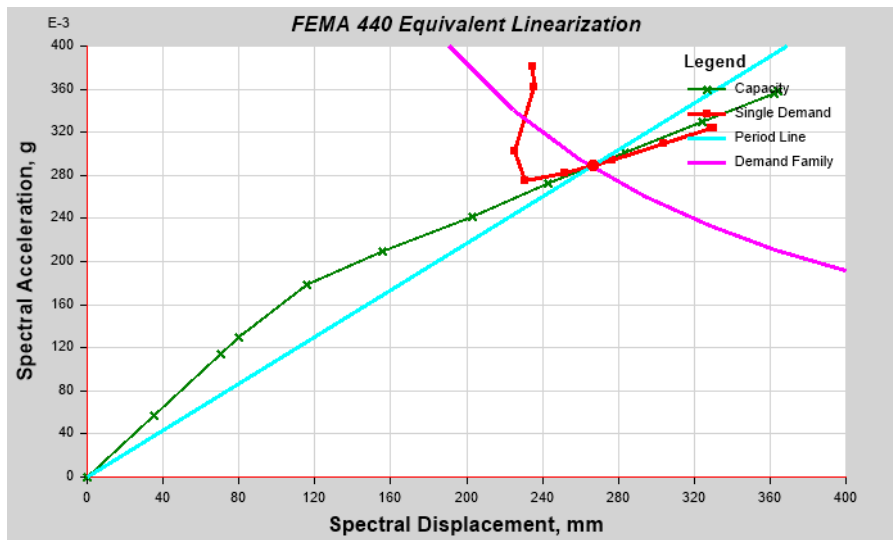
$$\text{Nilai kinerja bangunan} = \frac{x_{maks}}{H} = \frac{337.382}{23000} = 0.015 \text{ (damage control)}$$

$$0.01 < 0.015 < 0.2 \rightarrow \text{damage control}$$

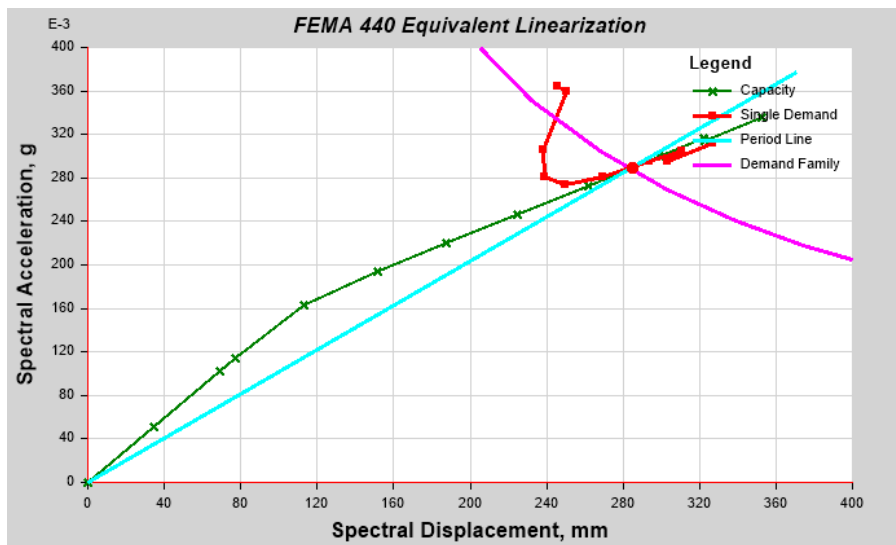
3.5.2. Level kinerja struktur arah y

Untuk struktur arah y, berdasarkan hasil plot gaya vs perpindahan, diketahui perpindahan maksimum adalah 372.251 mm, dan tinggi bangunan adalah 23000 mm.

$$\text{Nilai kinerja bangunan} = \frac{x_{maks}}{H} = \frac{372.251}{23000} = 0.016 \text{ (damage control)}$$



Gambar 9. Push Over arah x



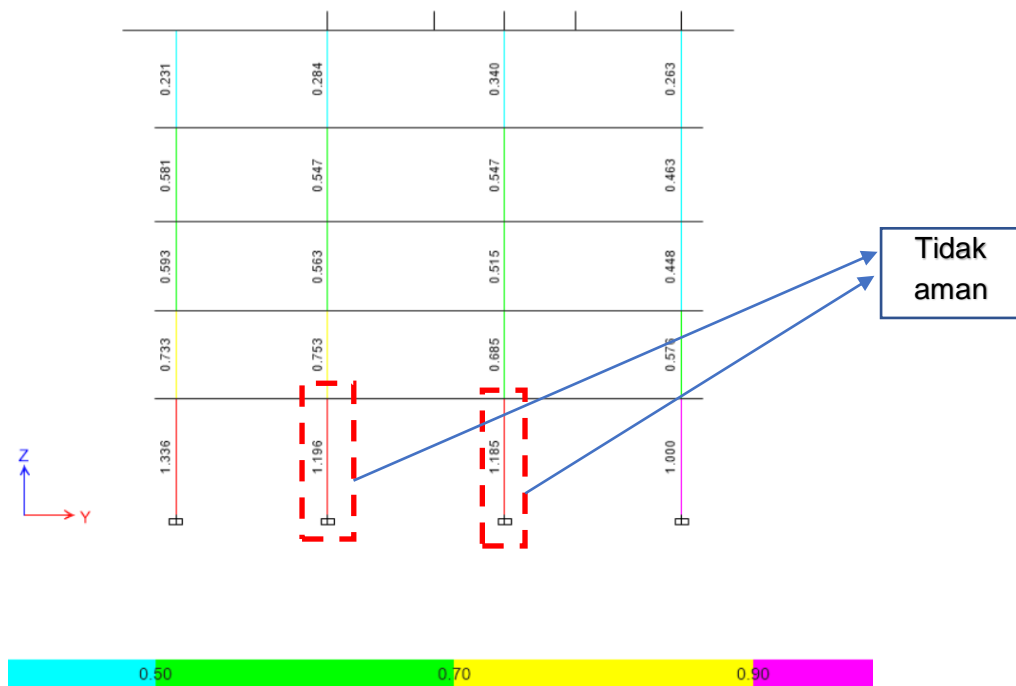
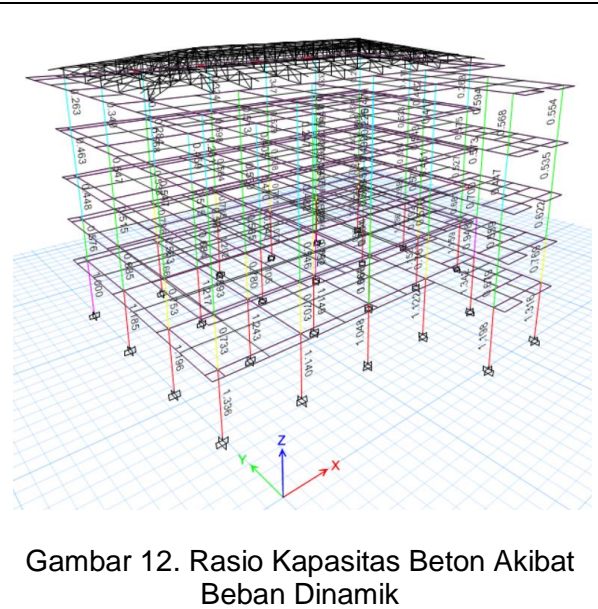
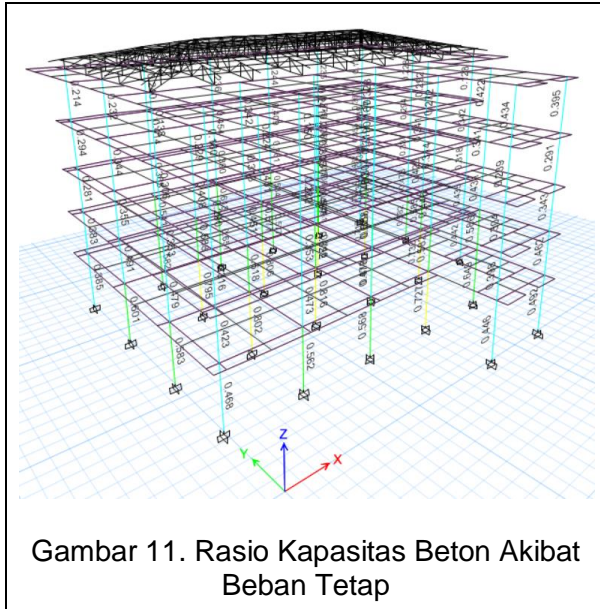
Gambar 10. Push Over arah y

3.6. Cek Kapasitas Penampang Struktur

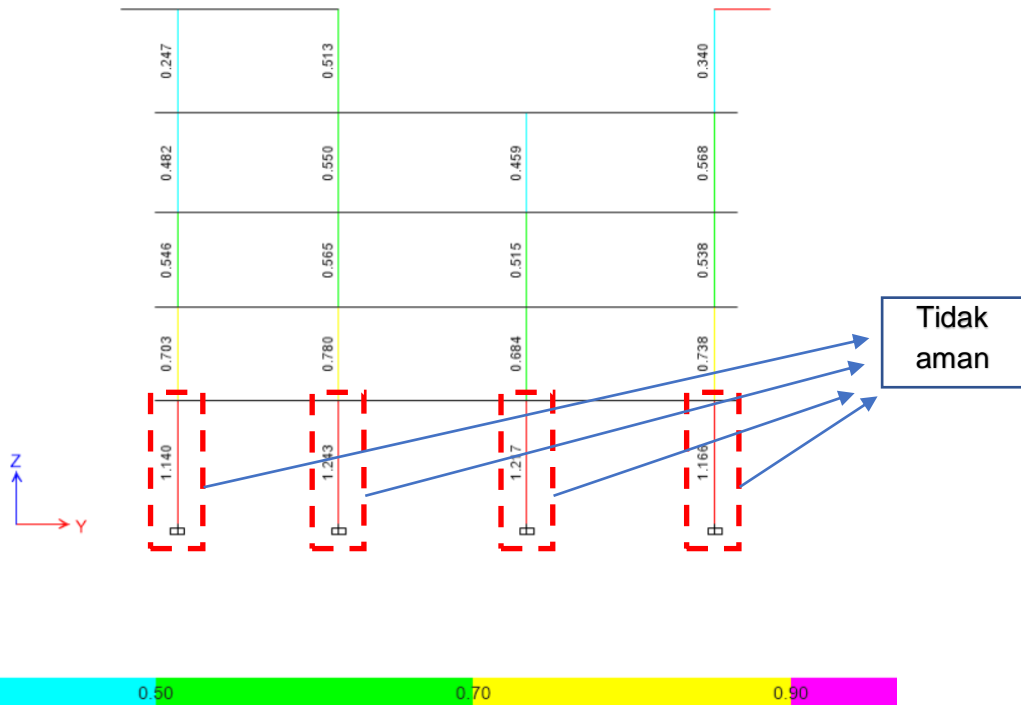
Langkah selanjutnya dalam asesmen gedung ini adalah melakukan analisa struktur untuk kalkulasi gaya-gaya dalam yang timbul. Berdasarkan gaya-gaya dalam yang diketahui, maka dapat dicek rasio kapasitas penampang beton komponen struktur. Kapasitas yang ditinjau adalah kapasitas beton terhadap beban static dan terhadap beban dinamik yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.

3.6.1. Rasio Kapasitas Kolom

Berdasarkan hasil analisa struktur terhadap beban tetap, komponen struktur terlihat masih aman (Gambar 11). Hasil analisa struktur terhadap beban dinamik (beban gempa) menunjukkan bahwa kolom-kolom di lantai 1 mempunyai kapasitas dinamik yang kurang atau tidak aman sehingga harus diperkuat (Gambar 12). Kolom-kolom yang tidak aman tersebut diperlihatkan dalam gambar potongan yang diperlihatkan pada Gambar 13 s/d 18, dimana tanda garis kotak putus-putus menunjukkan kolom yang tidak aman..



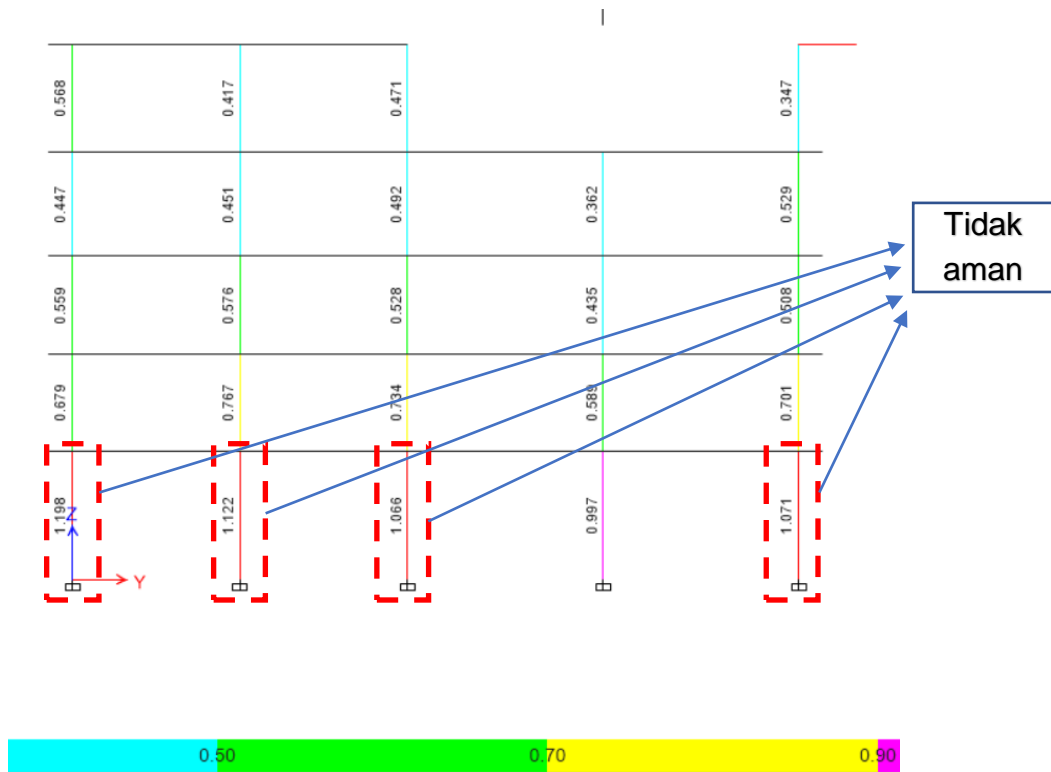
Gambar 13. Gambar potongan view A



Gambar 14. Gambar potongan view B



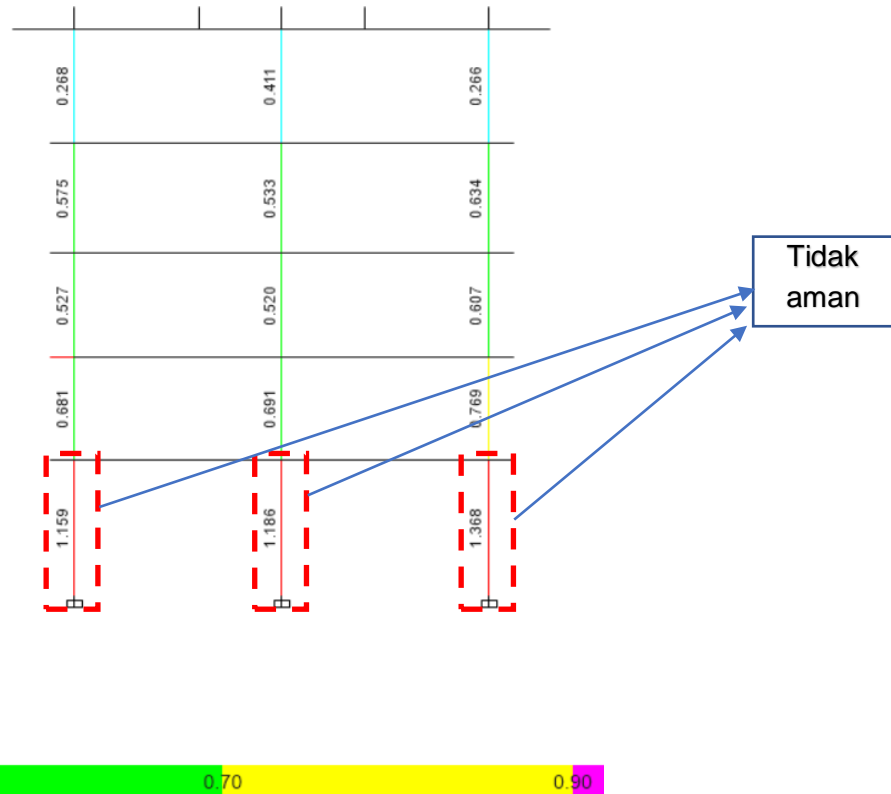
Gambar 15. Gambar potongan view C



Gambar 16. Gambar potongan view D



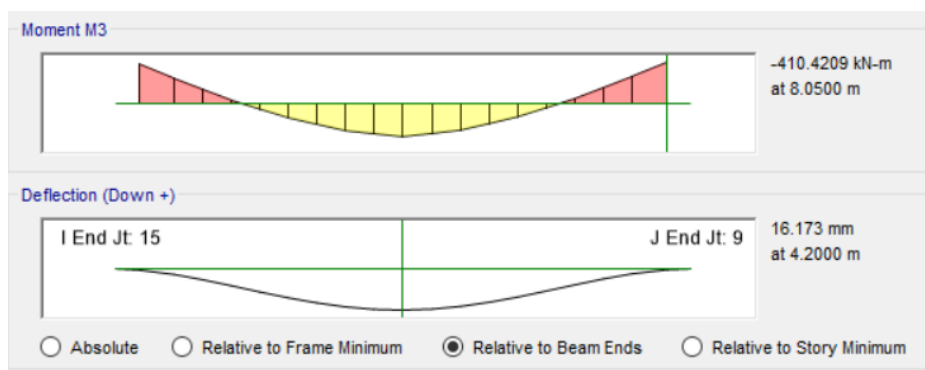
Gambar 17. Gambar potongan view E



Gambar 18. Gambar potongan view F

3.6.2. Cek Lendutan Balok

Asesmen komponen struktur lainnya adalah melakukan cek lendutan balok interior. Lendutan yang ditinjau pada balok induk lantai 5 dilokasi ruang rapat utama yang merupakan beban fungsi ruang terbesar. Lendutan yang terjadi diambil berdasarkan hasil analisa struktur yaitu sebesar 16.173 mm (Gambar 19).



Gambar 19. Gambar Lendutan Pada Balok Induk

Lendutan yang diijinkan adalah $L / 360$, dimana L bentang bersih balok sebesar 8400 mm. dengan demikian diperoleh lendutan ijin sebesar 23.30 mm, sehingga balok masih memenuhi persyaratan.

4 KESIMPULAN

Telah diuraikan di atas mengenai asesmen struktur gedung lama, yang dievaluasi menggunakan standar terbaru, terutama kinerja seismik berdasarkan SNI 1726-2019. Hasil material beton eksisting masih memenuhi persyaratan yang ditentukan berdasarkan SNI 2847-2019, demikian pula tegangan leleh tulangan utama yang digunakan juga masih sesuai standar. Tinjauan terhadap hasil base shear, lateral drif dan efek P-delta pada arah x maupun arah y yang terjadi masih memenuhi persyaratan standar yang terbaru. Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur juga tidak terjadi pada struktur yang ditinjau. Namun terjadi Ketidakberaturan Berat (Massa) pada lantai 3 dan 4. Level kinerja struktur eksisting secara keseluruhan (gempa arah x dan y) adalah *damage control*. Untuk struktur dengan faktor keutamaan $I=1.5$, dengan beban gempa periode ulang 2500 tahun, diijinkan struktur berdeformasi sampai batas *life safety* pada *performance point*. Oleh sebab itu struktur kategori *damage control* masih aman. Rasio kapasitas kolom beton di lantai 1 tidak aman terhadap beban gempa, sehingga direkomendasi perkuatan pada kolom di lantai 1. Cek terhadap lendutan balok dengan beban terbesar menunjukkan bahwa lendutan balok yang terjadi masih di bawah lendutan ijin.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT. Arsi Granada Muda yang telah memfasilitasi investigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ✚ ACI 318-14 (2014). "Building Code Requirements for Structural Concrete".
- ✚ ASCE 7-16 (2017). "*Minimum Design Loads and Associate Criteria for Buildings and Other Structures*", Publishing by ASCE.
- ✚ ATC 40 (1996). "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building".
- ✚ Budiono, B. (2017). "Contoh Desain bangunan Tahan Gempa, Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta", ITB Press.
- ✚ FEMA 356 (2000). "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building".
- ✚ FEMA 440 (2005). "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures".
- ✚ Imran, I. & Hendrik, F. (2014). "*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*", ITB Press.
- ✚ Mosleh, A., Rodrigues, H., Varum, H., and Costa, A. (2016). "*Seismic Behavior of RC Building Structures Designed According to Current Codes*, Structures, 7,1-13.
- ✚ Sidi, Indra Djati & Ong, E.H.K. (2020). "*Kinerja Bangunan Kaku yang Direncanakan dengan Metoda Statik Ekuivalen SNI 1726 – 2019*", Webinar HAKI Low Rise Building, 25 November.
- ✚ SNI 2847-2019 (2019). "*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*".
- ✚ SNI 1726-2019 (2019). "*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*".
- ✚ SNI 1727-2020 (2019). "*Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*".