

KINERJA STRUKTUR *PEDIATRIC & ICCU BUILDING OF GUIDO VALADARES NATIONAL HOSPITAL* MENGGUNAKAN *PUSHOVER ANALYSIS*

Matheus Putra Septian Seda Oke¹, Rani Hendrikus², Merzy Mooy^{2*}, Christiani Chandra Manubulu², Krisantos Ria Bela²

¹ Mahasiswa Program Studi Sipil, Universitas Katolik Widya Mandira, Jl. San Juan No.1 Penfui, Kupang, NTT, Indonesia

² Program Studi Sipil, Universitas Katolik Widya Mandira, Jl. San Juan No.1 Penfui, Kupang, NTT, Indonesia
email: merzhymooy@yahoo.com

Abstrak: Berdasarkan SNI 1726-2019, rumah sakit merupakan kategori resiko bangunan IV yang memiliki faktor kepentingan tinggi terhadap perencanaan bangunan terhadap gempa. Oleh karena itu diperlukan evaluasi terhadap bangunan yang bukan hanya dipengaruhi gempa melainkan juga kekuatan, kekakuan, daktilitas bangunan itu sendiri. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja RS *Pediatric and ICCU Building of Guido Valadares National* menggunakan analisis *pushover*. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat kegagalan *drift* yang disebabkan oleh adanya ramp di salah satu sisi bangunan yang menghasilkan kekakuan di sisi tersebut lebih besar dibandingkan sisi lain bangunan. Sehingga dilakukan penerapan sistem struktur baru di sisi bagian bawah bangunan dengan perkuatan *bracing* untuk menciptakan keseimbangan bangunan tersebut. Hasil desain baru mengungkapkan adanya kinerja struktur bangunan yang lebih baik dan sesuai dengan standar yang berlaku.

Kata Kunci: kinerja struktur, *pushover analysis*

Abstract: According to SNI 1726-2019, hospitals are in category IV building risk which has high factor importance for building planning against earthquakes. Therefore, an evaluation of buildings is needed which is not only affected by earthquakes but also the strength, stiffness, and ductility of the building itself. This study aims to produce the performance of the Guido Valadares National Pediatric Hospital and ICCU Building using *pushover analysis*. The results of the analysis show that there is a deviation failure caused by the presence of a ramp on one side of the building which results in greater stiffness on that side than on the other side of the building. A new structural system is applied on the lower side of the building with *bracing reinforcement* to create balance for the building. The new design results reveal better building structure performance and it is in accordance with applicable standards.

Keywords: structural performance, *pushover analysis*

1. PENDAHULUAN

Rumah sakit adalah pilar penting dalam infrastruktur kesehatan yang harus mampu bertahan dan tetap beroperasi dalam kondisi bencana alam seperti gempa bumi. Kemampuan rumah sakit untuk beroperasi di tengah bencana bukan hanya menjamin akses kontinu terhadap perawatan medis, tetapi juga merupakan tonggak utama dalam upaya pemulihan dan stabilisasi dalam situasi darurat. Karena pentingnya fungsi rumah sakit sebagaimana diuraikan diatas maka SNI 1726-2019 menetapkan kategori resiko bangunan IV khususnya untuk rumah sakit yang memiliki fasilitas pelayanan darurat, operasi, dan ICU. Kategori resiko bangunan ini akan berpengaruh pada faktor kepentingan bangunan yang selanjutnya berpengaruh pada besarnya gaya gempa yang direncanakan, semakin tinggi

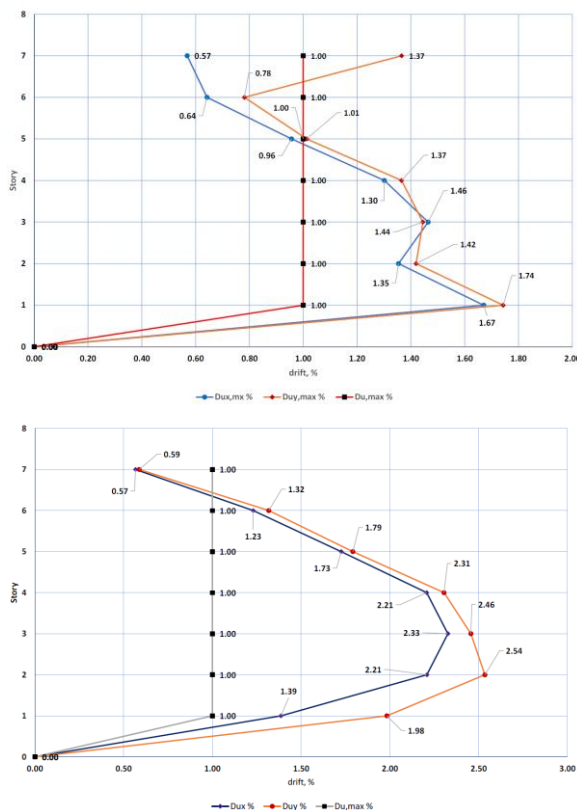
kategori resiko bangunan, semakin tinggi faktor kepentingannya semakin besar pula gaya gempa yang direncanakan [1].

Kerusakan pada bangunan tidak hanya dipengaruhi oleh gempa, tetapi juga oleh kekuatan, kekakuan dan daktilitas struktur bangunan itu sendiri. Dimana apabila terjadi gempa, bangunan yang mengalami simpangan horizontal dan jika simpangan khususnya *drift* tersebut melampaui batas aman yang ditetapkan oleh peraturan bangunan tersebut beresiko mengalami kerusakan.

Pediatric and ICCU Building of Guido Valadares National Hospital merupakan sebuah bangunan rumah sakit anak dan unit perawatan intensif untuk penyakit jantung pada rumah sakit Nasional Guido Valadares yang didesain pada tahun 2015 dan harus dievaluasi

ulang pada tahun 2023 dikarenakan perubahan regulasi. Evaluasi ulang ini menjadi suatu keharusan untuk memastikan bahwa gedung rumah sakit tetap mematuhi standar keselamatan yang diperlukan dalam lingkungan yang selalu berkembang [2].

Berdasarkan hasil *Report-II Upper Structures Design Review of Pediatric & ICU Building* yang dilakukan oleh Rachio Plan Consultant, Lda PT. Benatin Consultan, ditemukan bahwa persyaratan *drift* tidak terpenuhi. Dapat dilihat pada gambar 1a yang menunjukkan bahwa nilai $D_{ux,max}$ dan $D_{uy,max}$ pada pusat massa pada lantai satu sampai lima melebihi $D_{u,max}$ dan pada gambar 1b nilai D_{ux} dan D_{uy} pada lantai satu sampai enam yang melebihi $D_{u,max}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan existing tersebut tidak memenuhi persyaratan SNI 1726-2019.



Gambar 1. Story drift pada pusat massa dan story drift maximum (*report ii upper structure design review of Pediatric & ICU Building*)

Penyebab utama kegagalan *drift* disebabkan oleh adanya ramp di salah satu sisi bangunan. Ramp pada gedung tersebut berfungsi sebagai akses sirkulasi vertikal, ramp juga memberi kemudahan akses bagi orang yang tidak dapat menggunakan tangga, seperti disabilitas atau orang yang menggunakan kursi

roda [3]. Kehadiran ramp tersebut yang berada pada bagian tepi menyebabkan kekakuan menjadi lebih besar pada sisi tersebut dibandingkan sisi lainnya [4]. Dampaknya terlihat pada pergeseran pusat kekakuan yang cenderung berpindah ke sisi atas, sementara pusat massa relatif berada di tengah pelat lantai [5]. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu solusi yang dapat diimplementasikan adalah dengan menambahkan sistem struktur baru disisi bagian bawah bangunan. Tujuannya adalah untuk menciptakan keseimbangan struktur sehingga pusat kekakuan dapat lebih dekat dengan pusat massa [6].

Berdasarkan pembahasan diatas, ada beberapa alternatif perkuatan struktur yang dapat digunakan yaitu *shear wall* [7] dan *bracing* [8]. Pada penelitian ini, digunakan alternatif perkuatan menggunakan *bracing* dan dievaluasi menggunakan metode statik nonlinear *pushover* yang relatif mudah dan cepat dalam melakukan analisis dan dapat memberikan hasil yang cukup akurat dalam mengevaluasi kinerja struktur bangunan [9].

2. METODE

Penelitian dibagi menjadi dua tahap yakni tahapan desain, dan dilanjutkan dengan tahapan analisis respons *in-elastic*. Tahapan desain diuraikan menjadi fase preliminary-desain dan fase final-desain. Sementara itu tahapan analisis respons *in-elastic* akan dilanjutkan setelah fase final desain, dengan menggunakan metode *pushover analysis*.

Penelitian diawali dengan pemodelan struktur serta penentuan data umum bangunan sesuai dengan data bangunan serta model struktur yang ada, dilanjutkan dengan tahap preliminary desain-1 untuk memperkirakan metode analisis yang boleh digunakan pada bangunan yang direncanakan. Perkiraan ini ditentukan dengan melakukan evaluasi ketidakberaturan horisontal dan vertikal dari model struktur secara kualitatif

Preliminary desain-2 bertujuan untuk menentukan dimensi komponen struktur yang cukup untuk memenuhi berbagai persyaratan terhadap kinerja struktur yang disyaratkan, tahap ini diawali dengan penentuan KDS, penentuan faktor redundansi, estimasi dimensi komponen struktur dan perhitungan pembebanan, dilanjutkan dengan analisis model dengan ETABS Output berupa respons dari

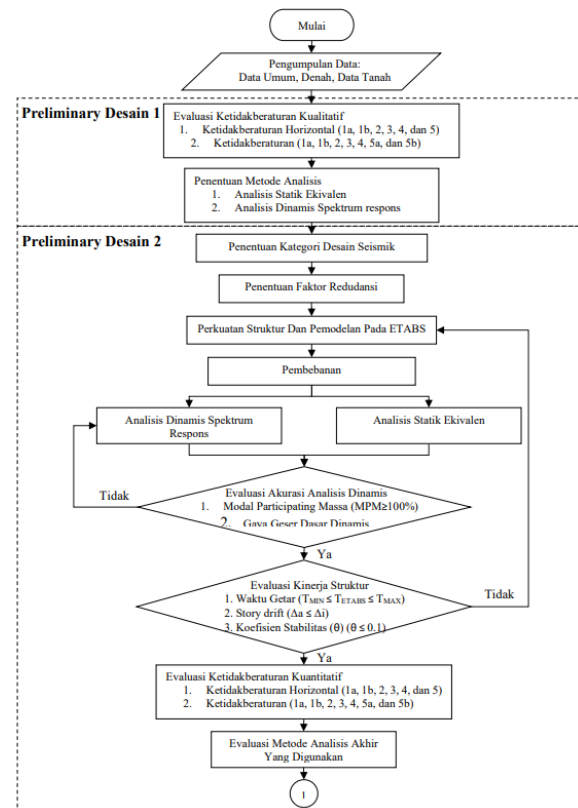
model akan digunakan sebagai bahan untuk mengevaluasi ketidakberaturan struktur secara kuantitatif, waktu getar struktur (T_0), *modal participating massa* (MPM), gaya geser dasar dinamis, koefisien stabilitas (θ) dan berakhir dengan evaluasi simpangan antar tingkat Δ_0 (*story drift*). Hasil evaluasi merupakan dasar dari penerimaan dimensi komponen struktur yang telah ditetapkan sebelumnya.

Fase final desain dilakukan untuk memperoleh kebutuhan jumlah tulangan yang diperlukan untuk memikul beban kerja, yang meliputi desain tulangan memanjang dan tulangan transversal balok dan kolom.

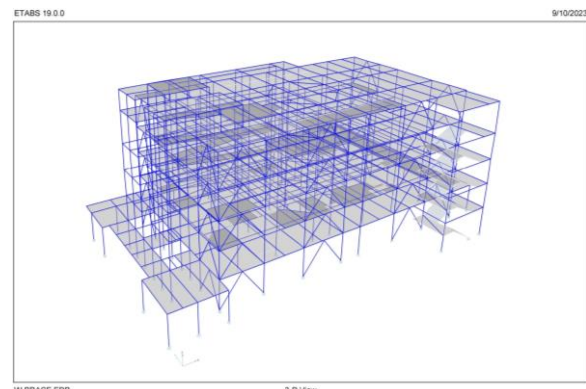
Analisis respons *in-elastic* dilakukan setelah diperoleh seluruh kebutuhan tulangan memanjang dan tulangan transversal balok, kolom dan *bracing* dengan menggunakan metode *pushover analysis*. Output dari analisis akan menghasilkan mekanisme pelepasan dari struktur serta kurva kapasitas sebagai bahan untuk mengetahui respons *in-elastic* struktur.

Adapun data – data bangunan adalah:

- Fungsi bangunan: Rumah sakit
- Lokasi bangunan: Guido Valadares National Hospital, Estr. de Bidau, Díli, Timor Leste
- Koordinat Lintang : -8.5557254
- Koordinat Bujur: 125.5904151
- Jumlah lantai : 5 lantai
- Tinggi lantai 1: 4,20 m
- Tinggi lantai 2-4: 3,80 m
- Tinggi lantai 5: 4,60 m
- Tinggi penutup lift: 2 m
- Tinggi total bangunan: 20,2 m
- Lebar bangunan: 36,85 m
- Panjang bangunan: 52 m
- Struktur utama: Beton bertulang
- Kuat tekan beton (f_c): 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y): 420 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser (f_{ys}): 280 Mpa



Gambar 2. Diagram alir penelitian



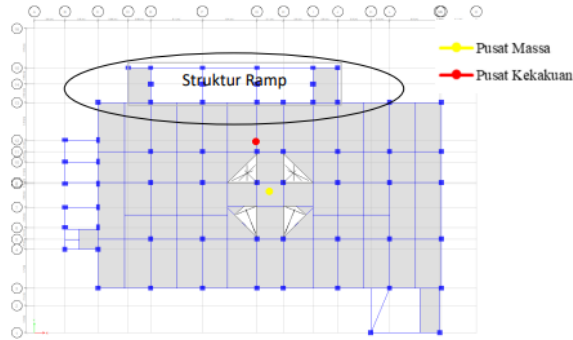
Gambar 3. Pemodelan bangunan menggunakan *Etabs v.19 2019*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

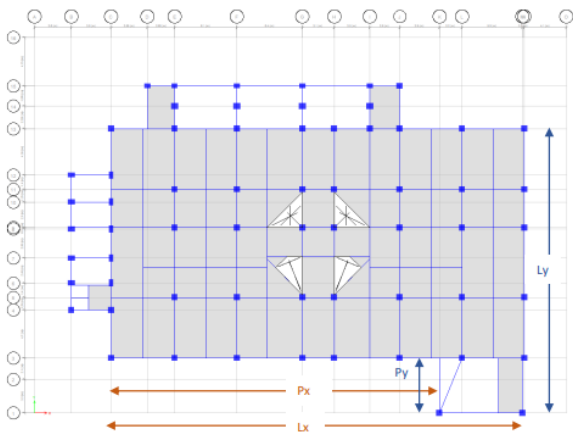
Evaluasi Ketidakberaturan

Tipe ini dipengaruhi oleh kesimetrisan bentuk bangunan serta tata letak dari kolom maupun dinding yang cenderung mengumpul pada suatu tempat sehingga menyebabkan kekakuan dan menyebabkan terjadinya torsi. Gambar 4 menunjukkan evaluasi terhadap tipe ketidakberaturan ini secara kualitatif. Diketahui bahwa di sisi atas bangunan terdapat struktur ramp yang dapat menyebabkan pergeseran pusat kekakuan cenderung bergeser ke arah tersebut dan menjauhi pusat massa. Dengan

demikian disimpulkan bahwa bangunan ini kemungkinan **memiliki** ketidakberaturan horizontal tipe-1a dan 1b (ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebih). Sedangkan ketidakberaturan sudut dalam (gambar 5) disebabkan oleh bentuk bangunan yang tidak sederhana dimana dalam masing-masing arah terdapat tonjolan seperti bangunan debah berbebtuk huruf L, T, X, H.



Gambar 4. Evaluasi ketidakberaturan torsi bangunan (lantai 3)



Gambar 5. Evaluasi ketidakberaturan sudut dalam bangunan (lantai 3)

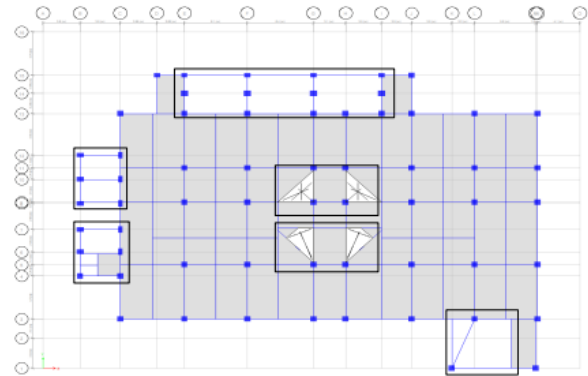
Tabel 1. Evaluasi ketidakberaturan horizontal

Lantai	Lx (m)	px (m)	Syarat	Keterangan
			>15%	
5	48.40	15.20	38%	Ada
4	48.40	15.20	38%	Ada
3	48.40	15.20	38%	Ada
2	48.40	15.50	38%	Ada
1	51.08	35.78	68%	Ada

Tabel 2. Evaluasi ketidakberaturan vertikal

Lantai	Ly (m)	py (m)	Syarat	Keterangan
			>15%	
5	26.70	6.73	16%	Ada
4	26.70	6.73	16%	Ada
3	26.70	6.73	16%	Ada
2	26.70	6.73	16%	Ada
1	31.45	6.73	21%	Ada

Selain itu, dilakukan evaluasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (gambar 6) yang disebabkan oleh pengaruh bukaan diafragma yang terlalu besar, melebihi 50% dari luas total diafragma. Berdasarkan tabel hasil evaluasi ketidakberaturan horizontal tipe-III diatas maka dapat disimpulkan bahwa pada bangunan yang direncanakan **tidak memiliki** ketidakberaturan horizontal tipe-III (ketidakberaturan diskontinuitas diafragma).

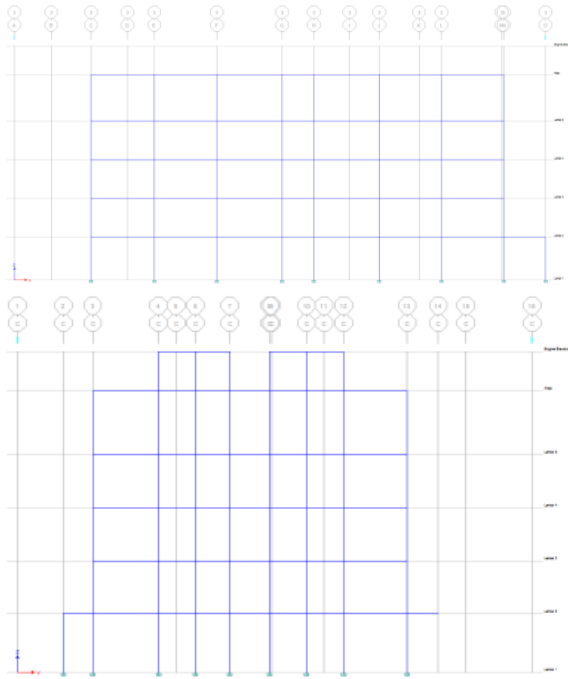


Gambar 6. Evaluasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Tabel 3. Evaluasi ketidakberaturan diskontinuitas difragma

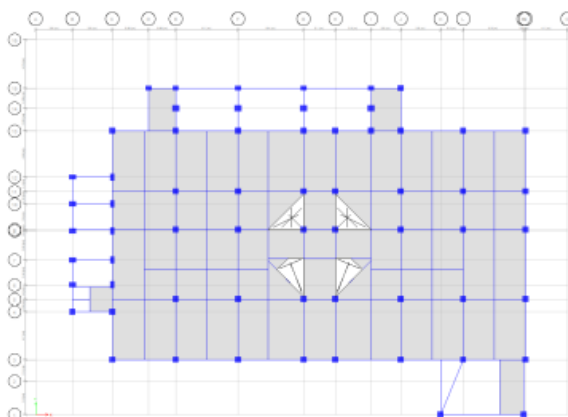
Lantai	Luas Diafragma (m ²)	Luas Bukaan (m ²)	Syarat 0.5xy	Keterangan
5	1137.81	181.63	569	Tidak Ada
4	1137.81	181.63	569	Tidak Ada
3	1137.81	181.63	569	Tidak Ada
2	1137.81	181.63	569	Tidak Ada
1	1528.15	181.63	764	Tidak Ada

Ketidakberaturan yang dievaluasi selanjutnya yakni ketidakberaturan horizontal tipe-4 (pergeseran melintang terhadap bidang) pada gambar 7 yakni yang dipengaruhi oleh elemen struktur kolom maupun elemen struktur dinding tidak menerus atau mengalami pergeseran dalam arah horizontal (pergeseran keluar bidang). Diketahui bahwa elemen struktur vertikal pada sistem rangka dalam arah-X dan Y menerus tanpa adanya pergeseran dari story 6 hingga base. Dengan demikian disimpulkan bahwa, bangunan **tidak memiliki** ketidakberaturan horizontal tipe-4 (pergeseran melintang terhadap bidang).



Gambar 7. Evaluasi ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

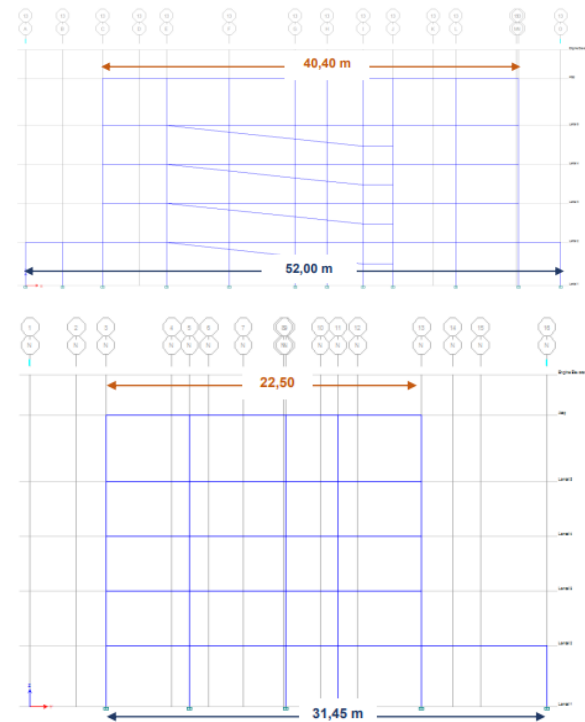
Ketidakberaturan sistem non parallel (gambar 8) disebabkan jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak sejajar terhadap sumbu orthogonal utama bangunan. Diketahui bahwa elemen penahan gaya lateral vertikal paralel/simetris dengan kedua sumbu ortogonal. Dengan demikian disimpulkan bahwa, bangunan tidak memiliki ketidakberaturan horisontal tipe-5 (ketidakberaturan sistem non paralel).



Gambar 8. Evaluasi ketidakberaturan sistem non parallel

Bangunan juga dilakukan evaluasi ketidakberaturan vertikal dan diketahui bahwa bangunan khususnya *frame As-N* memiliki ketidakberaturan vertikal tipe-3 (gambar 9, tabel 4 dan tabel 5) yang disebabkan oleh bentuk bangunan yang tidak beraturan dalam

arah vertikal dimana model bangunan semakin keatas semakin menjorok kedalam .



Gambar 9. Evaluasi ketidakberaturan vertikal tipe-3 (*frame As-13* dan *frame As-N*)

Tabel 4. Evaluasi ketiberaturan *frame As-13*

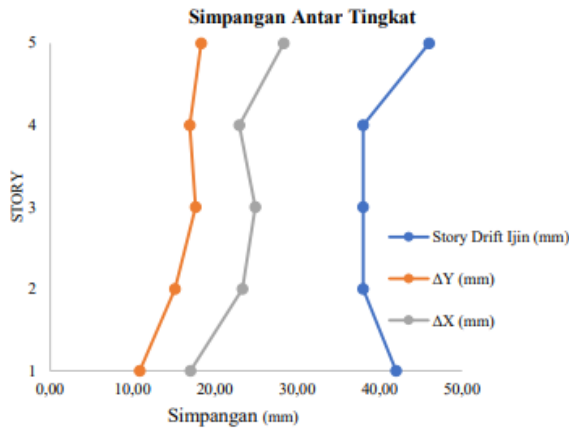
Lantai	Dimensi Bangunan		a/b	Syarat	Keterangan
	a (m)	b (m)			
1	52,00	40,40	1,287	a/b>130%	Tidak ada

Tabel 5. Evaluasi ketiberaturan *frame As-N*

Lantai	Dimensi Bangunan		a/b	Syarat	Keterangan
	a (m)	b (m)			
1	31,45	22,50	1,398	a/b>130%	Ada

Drift Antar Lantai (Δ_0)

Bangunan juga dianggap memiliki kinerja yang baik jika respon perpindahan yang terjadi pada joint bangunan tersebut dianggap masih berada pada batasan yang wajar. Untuk itu diberi batasan terhadap perpindahan yang terjadi melalui batasan simpangan antar lantai. SNI memberi persyaratan terhadap kinerja batas ultimit struktur gedung dimana $\Delta_0 \leq (0,2 \times h_{sx})/\rho$. Gambar 10 menunjukkan bahwa pola simpangan yang terjadi pada model dengan menggunakan metode analisis dinamis sudah memenuhi persyaratan dimana nilai simpangan antar tingkat sudah dibawah nilai simpangan ijin. Dengan demikian struktur memiliki kinerja yang baik karena memenuhi persyaratan terhadap kinerja yang disyaratkan.



Gambar 10. Drift antar lantai bangunan

Koefisien Stabilitas

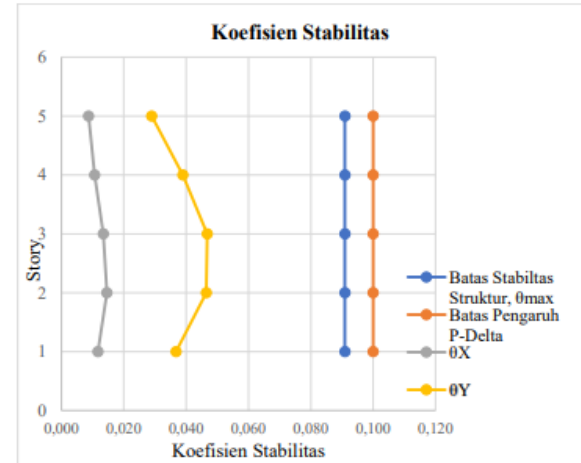
Dengan adanya beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan, maka dapat menimbulkan tambahan perpindahan dalam arah lateral struktur/efek P- Δ . Pengaruh terhadap perpindahan yang berlebihan akan menimbulkan struktur menjadi tidak stabil. SNI 1726-2019 memberi batasan terhadap kestabilan struktur dengan memperhitungkan efek P- Δ berdasarkan nilai koefisien stabilitas struktur, θ dimana nilai koefisien stabilitas harus lebih kecil atau minimal sama dengan 0.10 dan tidak boleh melebihi θ_{max} sebesar 0.25. Jika nilai θ lebih besar dari pada θ_{max} , maka struktur berpotensi tidak stabil dan perlu dilakukan redesain. Tabel 7 dan gambar 11 menunjukkan hasil evaluasi terhadap koefisien stabilitas struktur berdasarkan metode analisis dinamis.

Tabel 6. Beban horizontal dan vertikal

Story	h	P	V _x	V _y
	mm	(kN)	(kN)	(kN)
5	4600	19694.21	3795.10	739.35
4	3800	39814.50	6181.50	1244.96
3	3800	60381.81	8039.92	1635.52
2	3800	81061.93	9309.97	1896.61
1	4200	107472.53	10158.90	2063.16

Tabel 7. Evaluasi efek P- Δ

Story	Inelastic Drift		Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	X	Y	θ_X	θ_Y			
5	28.36	18.33	0.0087	0.0290	0.1	0.091	Abaikan
4	22.98	16.95	0.0106	0.0389	0.1	0.091	Abaikan
3	24.90	17.65	0.0134	0.0468	0.1	0.091	Abaikan
2	23.35	15.14	0.0146	0.0464	0.1	0.091	Abaikan
1	17.03	10.88	0.0117	0.0368	0.1	0.091	Abaikan



Gambar 11. Koefisien stabilitas bangunan

Mekanisme Sendi Plastis

Secara teoritis, mekanisme pembentukan sendi plastis yang diharapkan tidak terjadi pada elemen struktur balok dan kolom berdasarkan konsep desain yang diharapkan yakni Beam Side Sway Mechanism sesuai konsep desain Kolom Kuat Balok Lemah, dimana sendi plastis diawali terjadi pada elemen bracing dan kemudian diikuti pada pangkal kolom lantai dasar. Berikut ini merupakan pembahasan mengenai mekanisme serta distribusi sendi plastis dalam masing-masing arah.

1. Mekanisme Sendi Plastis Arah-X Mekanisme pembentukan sendi plastis dalam arah-X diawali pada step pertama, yang terjadi pada elemen bracing yang ditunjukkan dengan pengkodean warna hijau. Seiring dengan penambahan beban, hingga step kedua, elemen bracing memasuki fase leleh awal namun belum terjadi deformasi signifikan pada bracing (D8 dan D2) pada lantai satu dan dua. Pada step ketiga, balok mulai memasuki fase leleh awal, sementara bracing mencapai deformasi maksimum dan memasuki kondisi CP (Collapse Prevention). Akhirnya, pada step keempat struktur mengalami keruntuhan total yang terjadi pada kolom (C9 dan C178) pada lantai satu.
2. Mekanisme Sendi Plastis Arah-Y Mekanisme pembentukan sendi plastis dalam arah-Y

diawali pada step pertama, yang terjadi pada elemen bracing (D10 dan D12) dan balok (B3) lantai 3. Seiring dengan penambahan beban, hingga step kedua, balok dan kolom mulai memasuki fase awal dan elemen bracing (D10 dan D12) mencapai deformasi maksimum dan memasuki kondisi CP (Collapse Prevention). Pada Step ketiga C58 mengalami CP. Akhirnya, pada step keempat struktur mengalami keruntuhan total yang terjadi pada kolom (C58) pada lantai satu dan racing (D12) lantai empat.

4. IMPLIKASI HASIL STUDI

Kontribusi dalam penelitian ini yakni dapat menjadi acuan perhitungan kinerja bangunan gedung dalam kondisi elastis, desain dengan menggunakan metode analisis spektrum respons, serta dianalisis menggunakan metode static non-linear (*pushover*).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Modal Participating Massa (MPM) Nilai Modal Partisipasi Massa dalam kedua arah mencapai 100% dengan 26 ragam, hal ini menunjukkan bahwa seluruh beban sudah terakomodir. Sehingga dapat disimpulkan Modal Partisipasi Massa memenuhi ketentuan dalam Pasal 7.9.1.1 SNI 1726-2019. Analisis ragam spektrum respons pada masing-masing arah-X dan arah-Y, menghasilkan nilai $V_d = V_s$. Oleh karena itu, gaya tersebut dapat digunakan dalam tahap desain. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726-2019. Waktu getar bangunan (T) dari software ETABS, nilai T untuk masing-masing arah berada pada interval T_{Min} dan T_{Max} . Oleh karena itu, nilai T_{Pakai} menggunakan nilai T yang diperoleh dari ETABS. Hal ini memastikan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan gaya gempa dan tidak terlalu kaku, sehingga dapat menghindari resonansi dan kerusakan akibat getaran berlebihan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa waktu getar bangunan memenuhi ketentuan dalam Pasal 7.8.2 SNI 1726-2019.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa, pada saat performance point, perpindahan maksimum yang terjadi pada lantai atap dalam arah-X sebesar 58.9 mm dan dalam

arah-Y sebesar 52.65 mm. Berdasarkan parameter drift ratio, nilai perpindahan diatas menghasilkan nilai drift ratio dalam arah-X sebesar 0.29% dan arah-Y sebesar 0.26%. Hasil diatas menunjukkan bahwa pada saat performance point, performance level dalam kedua arah berada pada status Operational yang dikarenakan terdapat elemen yang mengalami collapse. Diketahui bahwa bangunan tersebut mengalami mekanisme kegagalan yang tidak diinginkan (tidak memberikan peringatan terlebih dahulu) dimana kolom dan bracing terlebih dahulu mengalami kegagalan, sehingga konsep "strong column-weak beam" (kolom kuat-balok lemah) ini tidak tercapai. Kegagalan pada kolomi ini disebabkan oleh model bangunan yang memodelkan pondasi sebagai jepit, pada kenyataanya pondasi akan berotasi dan mendistribusi gaya tersebut ke elemen lain melalui sloof.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Maulana and J. Soedarto, "PERENCANAAN GEDUNG PASCASARJANA POLTEKES SEMARANG," vol. 6, 2017.
- [2] A. Herdianto, A. D. R. Tanjungsari, A. Hidayat, J. U. Dwi, and J. Soedarto, "EVALUASI Pengerjaan Ulang (REWORK) PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG DI SEMARANG," vol. 3, 2014.
- [3] D. Seftyarizki, A. K. Azzuhdi, and D. O. Saputri, "DISASTER SHELTER DESIGN AS AN ADDITIONAL FUNCTION IN UNIVERSITY OF BENGKULU'S MOSQUE," *BORDER*, vol. 5, no. 1, pp. 13–22, Jun. 2023, doi: 10.33005/border.v5i1.740.
- [4] U. Badawy, "Design of Ramps," 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.24935.52646.
- [5] Siti Nur'Syazwani Mohd Shamsaidy and Norhidayah Md Ulang, "Factor that Contributes to the Ramp Design and the Effective Gradient for Ramp at Entrance Carporch Area for Housing Sector in Double-Storey House to Accommodate Low-Clearance Vehicles," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 110, no. 1, pp. 22–36, Oct. 2023, doi: 10.37934/aram.110.1.2236.
- [6] O. Askarisichani, J. N. Lane, F. Bullo, N. E. Friedkin, A. K. Singh, and B. Uzzi, "Structural balance emerges and explains

- performance in risky decision-making,” *Nat. Commun.*, vol. 10, no. 1, p. 2648, Jun. 2019, doi: 10.1038/s41467-019-10548-8.
- [7] S. A. R. S. Hasibuan and F. Ma’arif, “OPTIMASI LETAK SHEAR WALL PADA STRUKTUR GEDUNG,” *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, pp. 819–830, Nov. 2022, doi: 10.24912/jmts.v5i4.18143.
- [8] M. R. Maheri and A. Sahebi, “Use of steel bracing in reinforced concrete frames,” *Eng. Struct.*, vol. 19, no. 12, pp. 1018–1024, Dec. 1997, doi: 10.1016/S0141-0296(97)00041-2.
- [9] Y. C. Sung, T. K. Lin, C. C. Hsiao, and M. C. Lai, “Pushover analysis of reinforced concrete frames considering shear failure at beam-column joints,” *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, vol. 12, no. 3, pp. 373–383, Sep. 2013, doi: 10.1007/s11803-013-0179-8.