

PENGARUH BEBAN GEMPA TERHADAP RESPON STRUKTUR GEDUNG TUA TERBENGKALAI (STUDI KASUS: GEDUNG KLABAT PLAZA MANADO)

*Jessen Granbey Potalangi¹, Ficky Marcellino Oroh², Nur Fitri Ramadhani³

¹Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, ²Teknik Sipil, Kota Manado

*) Email: jessenpotalangi@unsrat.ac.id

Received: 30 November 2025 ; Revised: 12 Desember 2025 ; Accepted: 13 Desember 2025

ABSTRACT

This research was conducted on the structural system of the Klabat Plaza Building in Manado, a 30-year-old abandoned structure located in an area with high seismic activity. The objective of this research is to evaluate the influence of earthquake loads based on the latest seismic zoning on the structural response. The assessment was carried out through field investigations, including the collection of physical condition data, concrete quality testing using a rebound hammer, yield strength testing of reinforcing steel using the Leeb Hardness Test, and reinforcement scanning to identify the actual configuration of structural elements. Structural modeling was then performed using SAP2000 v.26 by adopting earthquake load parameters in accordance with SNI 1726:2019 through response spectrum analysis and nonlinear pushover analysis. The response spectrum analysis indicates that the maximum displacements in both directions remain within the interstorey drift limits stipulated by the code, demonstrating that the structure retains adequate lateral stiffness in the elastic range. However, the pushover analysis reveals that the structure attains a Damage Control performance level, with several ground-floor columns exceeding the Collapse Prevention (CP) limit. This condition indicates vulnerability to a dangerous strong-beam–weak-column mechanism during a major earthquake. Critical elements were primarily observed in the ground-floor columns, cantilever beams, and non-prismatic beams, which exhibited significant internal force concentrations. Overall, the building may still be retained if appropriate strengthening measures are implemented, particularly on the ground-floor columns and the lateral force-resisting system. This study provides an important technical basis for the rehabilitation of aging buildings and for decision-making related to asset management in seismic-prone areas.

Keywords: Structural Response, Pushover, Investigation, Old Building, Earthquake

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada struktur Gedung Klabat Plaza Manado yaitu sebuah bangunan tua yang berusia 30 tahun telah lama terbengkalai dan berada pada wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh beban gempa berdasarkan zonasi terbaru terhadap respons struktur. Kajian dilakukan melalui investigasi lapangan meliputi pengumpulan data kondisi fisik bangunan, pengujian mutu beton menggunakan rebound hammer, pengujian kuat leleh tulangan baja melalui metode Leeb Hardness Test, serta pemindaian tulangan untuk mengidentifikasi konfigurasi aktual elemen struktural. Selanjutnya, pemodelan struktur dilakukan menggunakan SAP2000 v.26 dengan mengadopsi parameter beban gempa sesuai SNI 1726:2019 melalui analisis respons spektrum dan analisis nonlinier pushover. Hasil analisis respons spektrum menunjukkan bahwa simpangan maksimum pada kedua arah masih memenuhi batas interstorey drift yang disyaratkan standar, sehingga secara elastis struktur masih memiliki kekakuan lateral yang cukup. Namun, hasil analisis pushover mengungkap bahwa struktur berada pada level kinerja *Damage Control*, dengan beberapa kolom lantai dasar melampaui batas *Collapse Prevention* (CP). Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur rentan mengalami mekanisme strong beam–weak column yang berbahaya pada saat terjadi gempa besar. Elemen kritis terutama ditemukan pada kolom dasar, balok kantilever, dan balok nonprismatis yang mengalami konsentrasi gaya dalam signifikan. Secara keseluruhan, gedung masih dapat dipertahankan apabila dilakukan perkuatan yang tepat, khususnya pada elemen kolom dasar dan sistem penahan gaya lateral. Penelitian ini memberikan dasar teknis penting bagi upaya rehabilitasi bangunan tua serta pengambilan keputusan pengelolaan aset bangunan di kawasan rawan gempa.

Kata kunci: Respons Struktur, Pushover, Investigasi, Bangunan Tua, Gempa

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada kawasan dengan aktivitas seismik tinggi akibat pertemuan tiga lempeng besar, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Sulawesi Utara, termasuk Kota Manado, merupakan wilayah dengan kerawanan gempa cukup tinggi karena berdekatan dengan Palung Sulawesi dan sesar aktif [1]. Kondisi ini meningkatkan urgensi evaluasi bangunan eksisting, terutama bangunan tua yang dibangun sebelum diberlakukannya standar ketahanan gempa terbaru. Gedung Klabat Plaza Manado merupakan salah satu bangunan bertingkat yang telah terbengkalai dan mengalami degradasi material. Bangunan tersebut memiliki ketidakteraturan geometri, seperti split floor dan kantilever besar, yang berpotensi memperburuk kinerja struktur saat mengalami beban gempa. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh beban gempa zonasi terbaru terhadap respons struktur Gedung Klabat Plaza melalui kombinasi analisis dinamis dan nonlinier. Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji evaluasi struktur bangunan tua eksisting akibat beban gempa menggunakan pendekatan analisis nonlinier. Menurut studi

[2] dalam bangunan beton bertulang yang berusia tua biasanya menunjukkan minimnya penerimaan beban gempa. Kemudian dalam melihat kinerja sebuah bangunan studi [3] menyatakan bahwa kinerja dan mekanisme keruntuhan struktur bangunan dapat diperkirakan melalui analisis statik non-linier pushover selanjutnya dapat diproses untuk menentukan tingkat kinerja merujuk pada ATC-40. Sementara untuk evaluasi prosedur dari studi [4] menggunakan prosedur ASCE 41-17 menegaskan bahwa metode pushover mampu mengidentifikasi elemen kritis sekaligus tingkat kinerja bangunan secara global. Sejalan dengan temuan yang disebutkan studi [5] menegaskan bahwa zona kegempaan di Indonesia yang terus diperbaharui menuntut perlunya evaluasi ulang bangunan-bangunan eksisting yang dirancang sebelum pemberlakuan SNI ketahanan gempa terbaru. Berdasarkan kajian tersebut penelitian ini penting dilakukan untuk memahami respons struktur bangunan tua yang telah terbengkalai terutama yang berada pada wilayah seismik tinggi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Data Objek

Pengkajian perilaku struktur Gedung Klabat Plaza dilakukan berdasarkan data dasar bangunan yang diperoleh dari survei lapangan serta informasi teknis yang relevan oleh peneliti. Gedung ini berlokasi di pusat Kota Manado, Sulawesi Utara, Indonesia, dengan koordinat geografis $1,458^{\circ}$ Lintang Utara dan $124,83^{\circ}$ Bujur Timur. Bangunan sudah berumur sekitar 30 tahun memiliki luas total 6.191 m^2 dengan tinggi kurang lebih 30 meter. Secara struktural, gedung ini menggunakan sistem konstruksi campuran berupa beton bertulang pada elemen utama seperti kolom dan balok, sementara beberapa bagian lain menggunakan material baja, terutama pada area tertentu yang berfungsi sebagai penopang tambahan. Bangunan ini memiliki karakteristik khusus berupa tipe split floor dan bentang kantilever yang cukup panjang, sehingga menimbulkan ketidakaturan geometri yang signifikan dalam arah vertikal maupun horizontal. Sistem struktur gedung secara umum dikategorikan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Selain itu, kondisi bangunan yang telah lama terbengkalai menyebabkan terjadinya degradasi pada sebagian elemen struktural, sehingga menjadi perhatian utama dalam proses evaluasi respons struktur terhadap beban gempa. Seluruh parameter ini menjadi dasar utama dalam penyusunan model analisis struktur untuk memperoleh gambaran perilaku gedung terhadap pengaruh gempa sesuai standar yang berlaku.

Investigasi Kondisi Eksisting

Pelaksanaan investigasi struktur awal yang dilakukan adalah pengukuran dimensi elemen-elemen struktur setelah itu dilakukan pengujian kondisi eksisting struktur meliputi pengujian mutu Non-Destructive melalui Rebound Hammer Test [6] untuk memperoleh estimasi kuat tekan beton (f_c'), serta pengujian mutu tulangan baja melalui Leeb Hardness Test [7] untuk memperoleh estimasi kuat leleh tulangan baja (f_y). Evaluasi material beton struktur juga disesuaikan dengan persyaratan yang tercantum pada SNI 2847:2019 [8] dan ketentuan penulangan baja beton struktural berdasarkan SNI 2052:2017 [9], sehingga hasil pengujian lapangan (RHT dan LHT) dapat dikalibrasi dengan standar mutu yang berlaku.



Gambar 2. Pengujian lapangan

Data Pemodelan Struktur

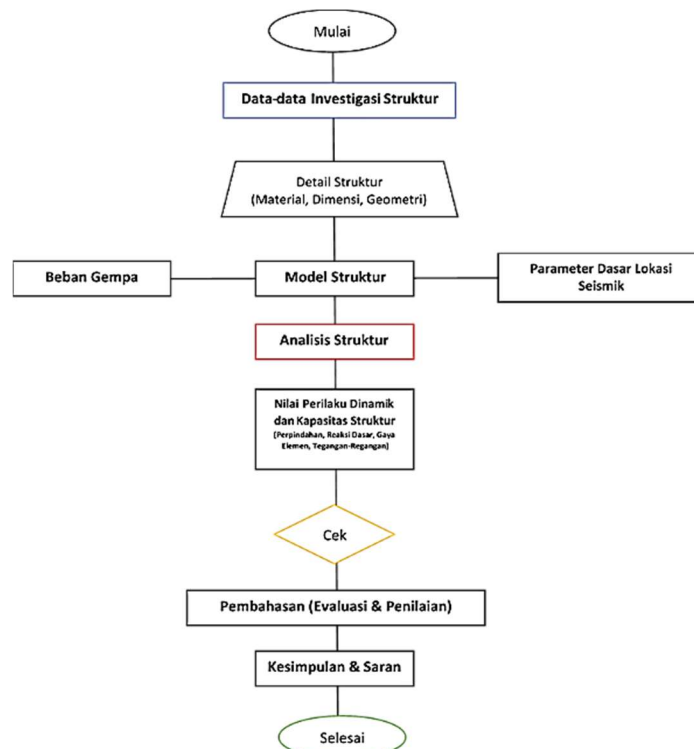
Berdasarkan data lapangan bangunan kemudian dimodelkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 v.26 [10]. Seluruh elemen struktur dimodelkan sesuai konfigurasi aktual termasuk ketidakaturan vertikal dan horizontal. Beban gravitasi termasuk beban mati dan beban hidup dimasukkan mengacu pada SNI 1727:2020 dan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Parameter gempa wilayah Manado divalidasi berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia [11], sehingga zonasi gempa yang digunakan untuk gedung klabat Plaza mencerminkan kondisi seismik terkini dan lebih konservatif. Daerah tinjauan didefinisikan berdasarkan respons spektrum wilayah Kota Manado mencakup nilai SDs, SD1, dan kurva percepatan desain.

Analisis Struktur

Analisis dilakukan menggunakan dua pendekatan yaitu analisis dinamik respons spektrum dan analisis statik nonlinier pushover. Analisis respons spektrum digunakan untuk memperoleh respons elastis bangunan meliputi simpangan antar lantai, gaya dalam, momen, dan gaya geser dasar. Validasi model dilakukan dengan memastikan kesesuaian gaya geser dasar antara analisis statik ekuivalen dan respons spektrum. Selanjutnya, analisis pushover digunakan untuk mengevaluasi kapasitas inelastik struktur, pembentukan sendi plastis, serta level kinerja struktur berdasarkan kurva kapasitas (capacity curve). Dalam penentuan level kinerja gedung ini mengacu pada pedoman internasional ATC-40 [12] dan ASCE/SEI 41-17 [13], yang memberikan batasan rasio drift dan kriteria sendi plastis untuk menentukan klasifikasi kinerja seperti Immediate Occupancy, Life Safety, Damage Control, dan Collapse Prevention.

Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram Alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Material Elemen Struktur Eksisting

Pengujian lapangan menunjukkan bahwa mutu beton bertulang pada elemen struktural bervariasi, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 33,5 MPa pada kolom, 27 MPa pada balok, dan 26 MPa pada pelat. Nilai tersebut masih tergolong dalam kategori beton mutu normal, meskipun ditemukan gejala degradasi seperti retak minor dan korosi ringan pada beberapa elemen. Sementara itu, pengujian kuat leleh baja menggunakan LHT menghasilkan nilai rata-rata 457,8 MPa, yang menegaskan bahwa kualitas tulangan baja masih berada pada tingkat yang baik. Kekurangan yang tampak terutama berasal dari kondisi bangunan yang telah lama terbengkalai sehingga mempengaruhi kinerja material terhadap beban dinamis.



Gambar 4. Kondisi Degradasi Elemen Kolom

Data Struktur Eksisting

Data detail dimensi struktur eksisting dapat dilihat pada tabel 1,2, dan 3 berikut:

Tabel 1. Konfigurasi Tulangan Kolom

No	Kolom	Dimensi	Tulangan		Selimut Beton (mm)
			Longitudinal	Tranversal	
1	K1	70x70	28D22	4Ø8-130	40
2	K7	35x35	8D12	2Ø8-100	40
3	K8	34x34	8D12	2Ø8-100	40
4	K9	60x60-45x45	16D16	3Ø8-100	40
5	K10	60x60-45x45	16D16	3Ø8-100	40
6	KA	34x34	8D12	2Ø8-100	40

Tabel 2. Konfigurasi Tulangan Kolom

LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal		LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal	
			Lok	Tp	Lpg	Tp	Lpg				Lok	Tp	Lpg	Tpn	Lpg
1	BAH	40/80	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100		2-7	BAH	30/80	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 5D16	7D16							Bwh 5D16	7D16			
	BAV	35/45	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100			BAV	35/45	Atas 7D16	5D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 5D16	7D16							Bwh 5D16	7D16			
	BIH	45/80	Atas 8D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100			BIH	40/80	Atas 8D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 6D16	8D16							Bwh 6D16	8D16			
	BIV	45/80	Atas 12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100			BIV	40/80	Atas 12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 7D16	12D16							Bwh 7D16	12D16			
8	BP	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100		9	BP	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	3D16							Bwh 3D16	3D16			
	BAHCanti	40/80-40/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50			BAHCanti	30/80-35/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
	BIHCanti	45/80-45/45	Atas 12D16		Ø10-50	Ø10-50			BIHCanti	40/80-40/40	Atas 12D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
	BIVCanti	45/90-45/45	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50			BIVCanti	40/80-40/40	Atas 10D16		Ø10-50	Ø10-50	
			Bawah 7D16								Bwh 7D16				
10	BAH	30/70	Atas 6D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100		9	BIH	25/55	Atas 3D16		Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	6D16							Bwh 3D16				
	BAV	35/45	Atas 3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100			BIV	30/80	Atas 6D16		Ø10-100	Ø10-100	
			Bawah 3D16	3D16							Bwh 3D16				
	BIH	40/85	Atas 6D16	3D16					BAH	30/60	Atas 6D16	3D16			

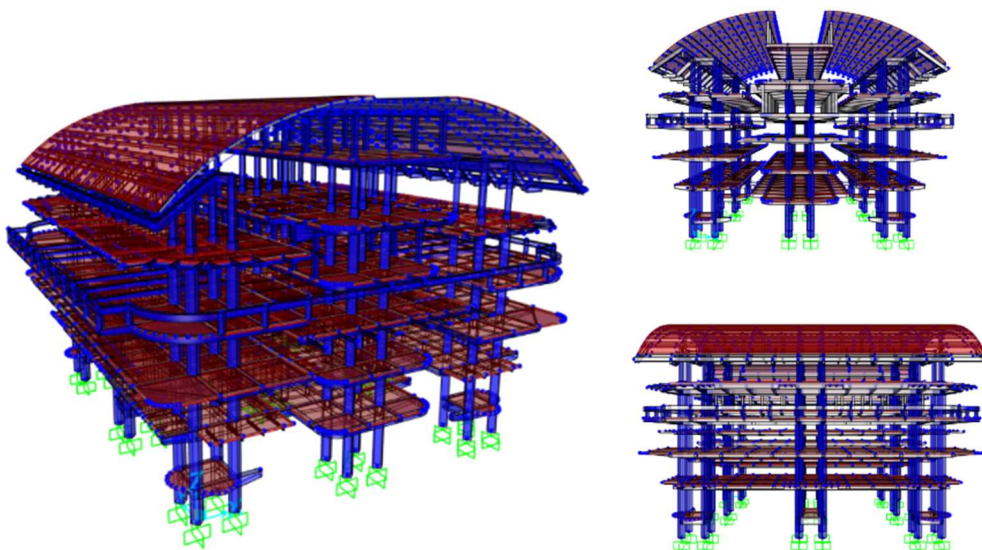
LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal		LT	Balok	Dimensi	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal	
			Lok	Tp	Lpg	Tp	Lpg				Lok	Tp	Lpg	Tpn	Lpg
			Bawah	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100
			Atas	12D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100				Atas	6D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	7D16	12D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-100
			Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100				Atas	7D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	7D16	7D16	Ø10-100	Ø10-100
			Atas	10D16		Ø10-50	Ø10-50				Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Bwh	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Atas	12D16		Ø10-50	Ø10-50				Atas	4D16		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Baw	3D16		Ø10-50	Ø10-50
			Atas	6D16		Ø10-100	Ø10-100				Atas	4D16-		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah			Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16		Ø10-50	Ø10-50
			Atas	10D16		Ø10-50	Ø10-50				Atas	4D16-		Ø10-50	Ø10-50
			Bawah	7D16		Ø10-50	Ø10-50				Bwh	3D16		Ø10-50	Ø10-50
			Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100				Atas	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100
			Bawah	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100				Bwh	3D16	3D16	Ø10-100	Ø10-100

Tabel 3. Konfigurasi Tulangan Kolom

No	Pelat	Tebal (mm)	Selimut beton (cm)	Tulangan Grid
1	P1	15	2.5	P10
2	P2	20	2.5	P10

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan di software SAP2000 v26 sesuai dengan data aktual lapangan yang diperoleh.

**Gambar 5.** Model struktur Gedung Klabat Plaza Manado

Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam pemodelan struktur SAP2000 meliputi semua elemen struktur eksisting.

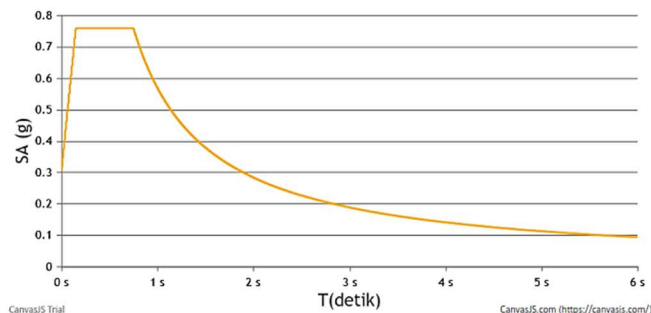
Tabel 4. Berat Gedung Eksisting

Objek	Material	Berat (KN)
Frame	Beton Kolom	10088,87
Frame	Baja Struktural	412,318
Frame	Rebar	4,246
Frame	Beton Balok	28733,01
Area	ColdFormed (atap)	31,602
Area	Beton Pelat	22733,16

$$\Sigma = 62003,2 \text{ KN}$$

Sumber: Analisis, 2025

Pembebanan yang diperhitungkan dalam pemodelan struktur meliputi beban mati, beban superimpose, dan beban gempa. Dalam analisis pada struktur ini digunakan pembebanan gempa dinamis respons spektrum. Fungsi respons spektrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk kondisi tanah sedang (SD) dengan koordinat geografis 1,458° Lintang Utara dan 124,83° Bujur Timur. Parameter seismik dan fungsi respons spektrum diperoleh Kelas Tanah SD (Tanah sedang), PGA MCEG: 0,4723g, SS MCEr: 1,058g, S1 MCEr: 0,4714g, TL: 16 detik, T0: 0,15 detik, Ts: 0,75 detik, SDs: 0,76g, dan SD1: 0,57g.



Sumber: RSA, 2025

Gambar 6. Respon spektrum Koordinat Gedung Klabat Plaza Manado

Hasil Analisis Respons Spektrum

Analisis respons spektrum dilakukan untuk memperoleh perilaku elastis struktur. Hasilnya menunjukkan bahwa simpangan maksimum pada arah X mencapai 43,2 mm, sedangkan pada arah Y sebesar 2,55 mm. Nilai drift antar lantai (interstorey drift ratio) pada kedua arah masih berada di bawah batas maksimum 0,02h sesuai SNI 1726:2019. Hal ini mengindikasikan bahwa secara elastis struktur masih memiliki kekakuan lateral yang cukup memadai.

Tabel 5. Simpangan lantai Arah X

*Bangunan tengah						*Bangunan Pinggir					
Lantai	Hx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$	Lantai	Hx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$
Atap	4550	43.21	39.45	113.75	OK	9	3900	28.12	25.58	97.5	OK
10	4150	36.03	36.34	103.75	OK	7	4150	23.47	37.95	103.75	OK
8	3150	29.42	26.42	78.75	OK	5	4000	16.57	39.26	100	OK
6	4150	24.62	44.03	103.75	OK	3	4400	9.427	41.70	110	OK
4	3900	16.61	42.18	97.5	OK	1	2650	1.844	10.13	66.25	OK
2	5350	8.94	49.20	133.75	OK	Dasar	0	0	0	0	
Dasar	0	0	0	0							

Sumber: Analisis, 2025

Tabel 6. Simpangan lantai Arah Y

*Bangunan Tengah						*Bangunan Pinggir					
Lantai	Hy (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta izin$	Lantai	Hy (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	$\Delta izin$ (mm)	Kontrol $\Delta y < \Delta izin$
Atap	4550	0.37	0.31	113.75	OK	9	3900	1.25	2.55	97.5	OK
10	4150	0.31	0.27	103.75	OK	7	4150	0.79	1.27	103.75	OK
8	3150	0.26	0.21	78.75	OK	5	4000	0.56	1.41	100	OK
6	4150	0.22	0.38	103.75	OK	3	4400	0.30	1.35	110	OK
4	3900	0.15	0.38	97.5	OK	1	2650	0.06	0.31	66.25	OK
2	5350	0.09	0.48	133.75	OK	Dasar	0	0	0	0	
Dasar	0	0	0	0							

Sumber: Analisis, 2025

Selain itu verifikasi gaya geser dasar menunjukkan bahwa gaya geser dari analisis dinamis dan metode statik ekuivalen telah memenuhi syarat kesetaraan. Dengan demikian, model struktur dianggap valid dan mewakili kondisi eksisting bangunan.

Tabel 7. Gaya Geser Statis dan Dinamis

BASE SHEAR	Dinamik (VD) Geser Dasar (KN)	Statis (VS) Geser Dasar (KN)	FaktorSkala VS/VD	Kontrol (VD>= 100% VS)
Arah X	4747.72	4738.97	0.99	OK
Arah Y	4750.674	4738.973	0.99	OK

Sumber: Analisis, 2025

Hasil Analisis Nonlinier Pushover

Dari proses iterasi didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan (D) dengan gaya geser dasar (V).

Tabel 8. Kapasitas Pushover Arah X

Load Case	Step	Disp. (mm)	Base Force (KN)	AtoB	B toC	C to D	D to E	Beyond E	AtoIO	IOtoLS	LStoCP	Beyond CP	Total
PUSH-X	0	0.256762	0	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	1	0.726072	66.865	3759	169	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	4	73.47004	10074	3588	340	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	5	133.8959	16443	3517	411	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-X	6	249.5311	25525	3349	567	12	0	0	3894	34	0	0	3928
PUSH-X	7	363.3766	32195	3214	690	24	0	0	3790	138	0	0	3928
PUSH-X	8	449.5121	36240	3164	738	26	0	0	3738	160	30	0	3928
PUSH-X	9	456.5361	36522	3162	733	33	0	0	3730	168	30	0	3928
PUSH-X	10	460.5981	36502	3152	737	39	0	0	3726	172	28	2	3928
PUSH-X	11	461.2384	36518	3152	736	40	0	0	3726	172	28	2	3928

Sumber: Analisis, 2025

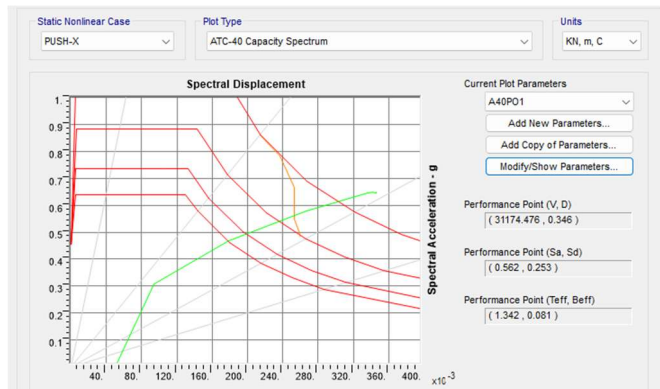
Tabel 9. Kapasitas Pushover Arah Y

Load Case	Step	Disp. (mm)	Base Force (KN)	AtoB	BtoC	C to D	D to E	Beyond E	AtoIO	IO to LS	LS to CP	Beyond CP	Total
PUSH-Y	0	0.6017	0	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-Y	1	0.60906	1.186	3760	168	0	0	0	3924	4	0	0	3928
PUSH-Y	17	112.904	16429	3582	346	0	0	0	3923	5	0	0	3928
PUSH-Y	18	173.4575	22807	3507	421	0	0	0	3912	16	0	0	3928
PUSH-Y	19	290.038	32083	3351	565	12	0	0	3874	54	0	0	3928
PUSH-Y	20	362.0675	37332	3238	678	12	0	0	3838	90	0	0	3928
PUSH-Y	21	420.384	40969	3178	722	28	0	0	3778	144	6	0	3928
PUSH-Y	22	508.3176	43401	3134	752	42	0	0	3741	169	6	12	3928
PUSH-Y	23	579.198	42469	3094	786	48	0	0	3729	175	0	24	3928
PUSH-Y	24	600.6	41755	3081	799	48	0	0	3726	178	0	24	3928

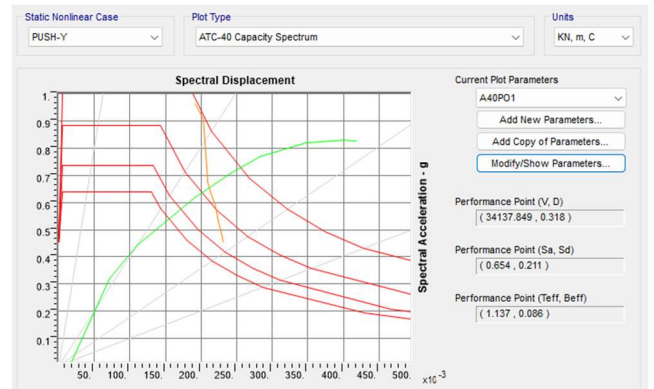
Sumber: Analisis, 2025

Hasil menunjukkan bahwa kapasitas maksimum perpindahan sebesar 461 mm dengan gaya geser (base shear) adalah 36.518 kN pada arah X dan perpindahan sebesar 600,6 mm dengan gaya geser 41.755 kN pada arah Y. Displacement gedung pada arah X dapat dikatakan baik karena displacement yang terbentuk lebih kecil dari displacement limit control sedangkan displacement gedung arah y dikatakan kurang baik karena sudah pada batas yang ditentukan sebesar $2\% H = 2\% \times 3 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$.

Dengan dilanjutkan menggunakan pendekatan Capacity Spectrum Method (CSM) dalam ATC-40. Berdasarkan parameter respons percepatan spektral, diperoleh nilai percepatan respons pada periode singkat (0,2 detik) sebesar $SMS = 1,139 \text{ g}$, Untuk periode satu detik (1,0 detik), diperoleh nilai $SM1 = 0,862 \text{ g}$. Parameter percepatan desain dihitung menggunakan ketentuan ATC-40 Pasal 4.4.3.1. Nilai percepatan desain jangka pendek (C_a) dihitung sebesar $0,4557 \text{ g}$, sedangkan percepatan desain periode panjang (C_v) adalah $0,8620 \text{ g}$. Berdasarkan parameter ini diperoleh nilai SDS sebesar $0,7595 \text{ g}$, dan $SD1$ sebesar $0,5747 \text{ g}$, yang menunjukkan bahwa percepatan desain untuk struktur berada pada kategori percepatan sedang hingga tinggi, yang umumnya terjadi pada zona seismik aktif. Klasifikasi kondisi eksisting struktur berdasarkan Tabel 8-4 ATC-40 menempatkan gedung ini pada Tipe C (Poor Existing Building), yang berarti bangunan diasumsikan memiliki kapasitas deformasi dan daktilitas yang terbatas akibat ketidakaturan struktur, degradasi material, dan potensi kelemahan detailing.



Gambar 7. Spektrum Kapasitas Arah X



Gambar 8. Spektrum Kapasitas Arah Y

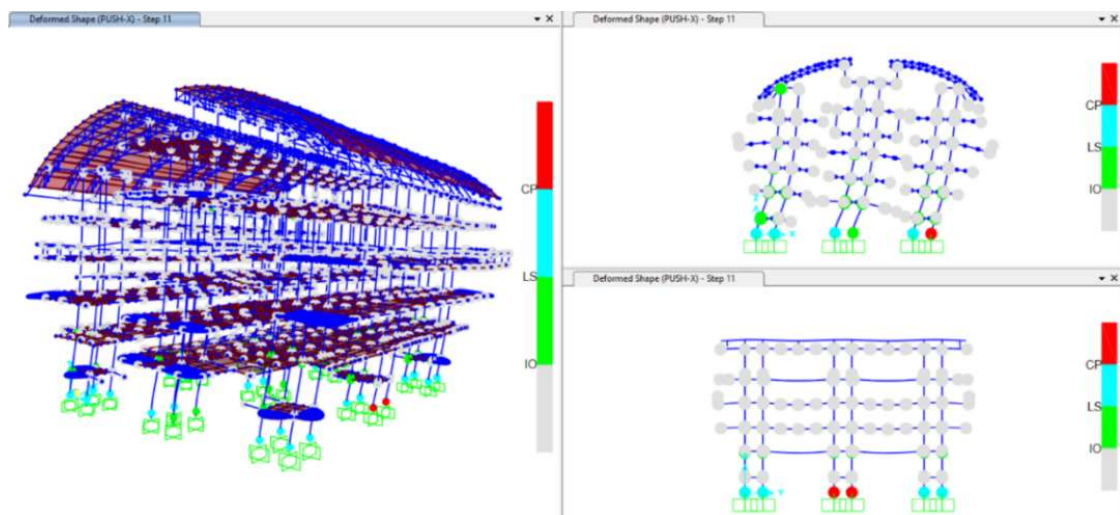
Tabel 10. Titik Kinerja Kapasitas Spektrum ATC-40

Parameter	Arah X (KN;m)	Arah Y (KN;m)
Performance Point (V;D)	31174,48; 0,346	34137,85 ; 0,318
Performance Point (Sa;Sd)	0,562 ; 0,253	0,654 ; 0,211
Performance Point (Teff;Beff)	1,342 ; 0,081	1,137 ; 0,086

Hasil analisis perpindahan pada titik kinerja (performance point) menunjukkan perpindahan lateral maksimum sebesar $D_x = 0,346$ m pada arah X dan $D_y = 0,318$ m pada arah Y. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan tinggi total bangunan yaitu 30 meter, sehingga diperoleh nilai drift sebesar 0,0115 pada arah X dan 0,01006 pada arah Y. Kedua nilai drift tersebut masih berada dalam batas yang diijinkan untuk kondisi elastis, namun menggambarkan bahwa struktur mengalami deformasi yang cukup signifikan ketika berada dalam kondisi mendekati kapasitas ultimitnya.

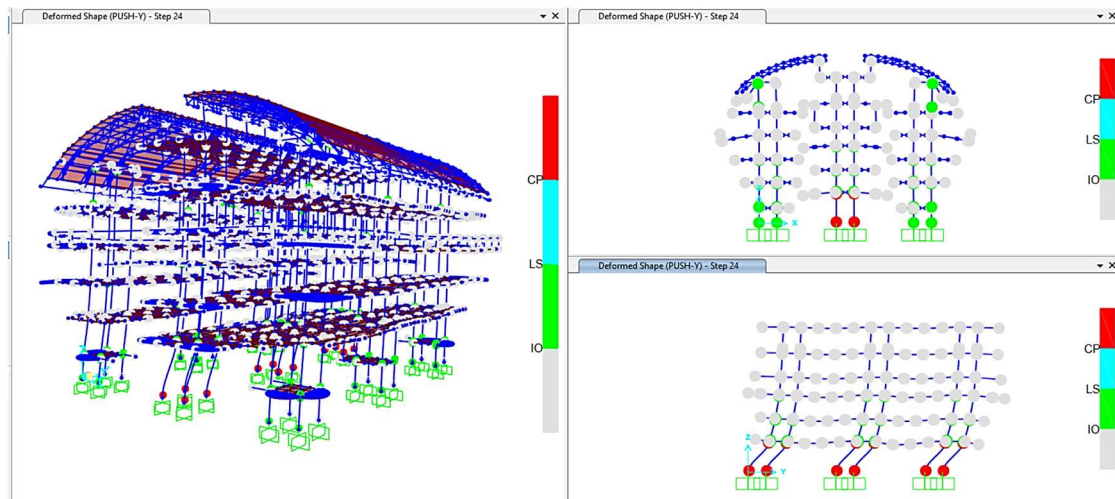
Hasil ATC-40 ini menegaskan bahwa meskipun struktur masih dapat memenuhi kriteria drift pada kondisi elastis dengan level Damage Control, kinerja inelastik menunjukkan bahwa kapasitas lateral struktur berada pada tingkat yang rendah untuk menahan gempa besar.

Elemen Kritis Struktur



Sumber: Analisis, 2025

Gambar 9. Keadaan Sendi Plastis Pada Rangka (Gempa Arah X)



Sumber: Analisis, 2025

Gambar 10. Keadaan Sendi Plastis Pada Rangka (Gempa Arah Y)

Hasil analisis memperlihatkan bahwa terdapat beberapa elemen yang memiliki tingkat kerentanan tinggi, yaitu:

- Kolom lantai dasar, yang menerima konsentrasi momen dan gaya aksial terbesar.
- Balok kantilever, akibat konfigurasi geometris yang tidak beraturan.
- Balok nonprismatis, yang mengalami perubahan kekakuan lokal.

Kondisi ketidakaturan struktur terutama split floor dan perbedaan elevasi lantai memberikan pengaruh signifikan terhadap alur distribusi gaya gempa, sehingga memperbesar risiko pembentukan sendi plastis pada elemen tertentu.

Data elemen sendi plastis kritis dapat dilihat pada tabel 12 dan 13 berikut:

Tabel 11. Elemen Sendi Plastis Gedung Akibat Pushover Arah X

Frame	Output Case	Case Type	Step Type	Assign Hinge	Gen Hinge	Rel Dist	AbsDist (cm)	Hinge State	Hinge Status
356	PUSH-X	NonStatic	Max	P-M2-M3	356H1	0.025	6.625	C to D	>CP
621	PUSH-X	NonStatic	Max	P-M2-M3	621H1	0.025	6.625	C to D	>CP

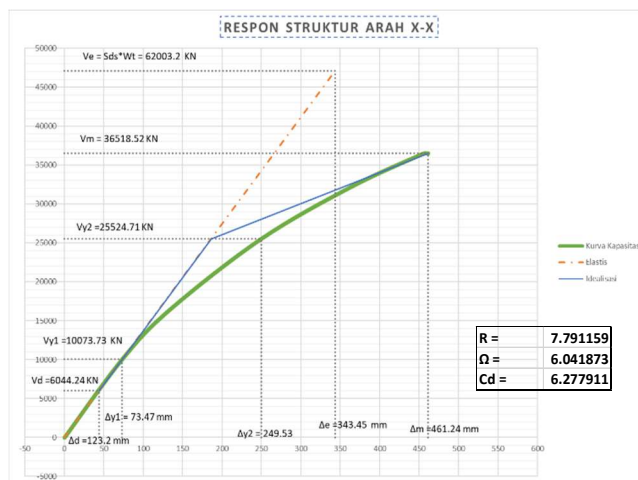
Tabel 12. Elemen Sendi Plastis Gedung Akibat Pushover Arah Y

Frame	Output Case	Case Type	Step Type	Assign Hinge	Gen Hinge	Rel Dist	Abs Dist (cm)	Hinge State	Hinge Status
4	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	4H1	0.025	13.375	C to D	>CP
4	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	4H2	0.975	521.62	C to D	>CP
5	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	5H1	0.025	13.375	C to D	>CP
5	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	5H2	0.975	521.62	C to D	>CP
28	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	28H1	0.025	13.375	C to D	>CP
28	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	28H2	0.975	521.62	C to D	>CP
47	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	47H1	0.025	13.375	C to D	>CP
47	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	47H2	0.975	521.62	C to D	>CP
351	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	351H1	0.025	13.375	C to D	>CP
351	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	351H2	0.975	521.62	C to D	>CP
352	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	352H1	0.025	13.375	C to D	>CP
352	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	352H2	0.975	521.62	C to D	>CP
616	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	616H1	0.025	13.375	C to D	>CP
616	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	616H2	0.975	521.62	C to D	>CP
617	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	617H1	0.025	13.375	C to D	>CP
617	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	617H2	0.975	521.62	C to D	>CP
820	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	820H1	0.025	13.375	C to D	>CP
820	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	820H2	0.975	521.62	C to D	>CP
821	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	821H1	0.025	13.375	C to D	>CP
821	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	821H2	0.975	521.62	C to D	>CP
1024	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1024H1	0.025	13.375	C to D	>CP
1024	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1024H2	0.975	521.62	C to D	>CP
1025	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1025H1	0.025	13.375	C to D	>CP
1025	PUSH-Y	NonStatic	Max	P-M2-M3	1025H2	0.975	521.62	C to D	>CP

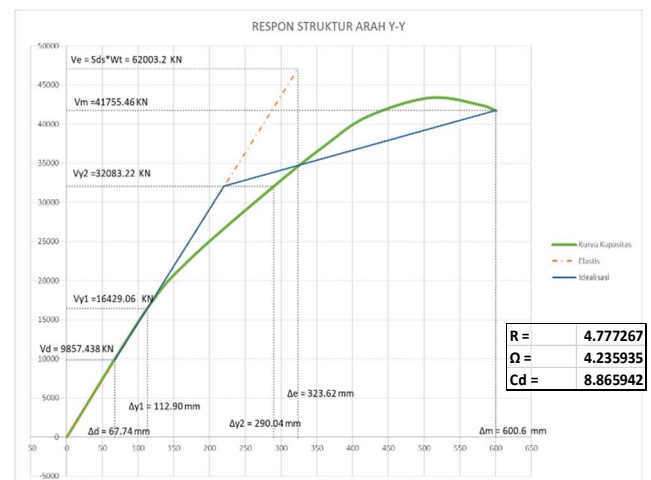
Terdapat 2 sendi plastis kolom yang berstatus diatas batas Collapse Prevention untuk arah X dan terdapat 24 sendi plastis kolom yang berstatus diatas batas Collapse Prevention untuk arah Y. Pembentukan sendi plastis kritis ini sebagian besar terjadi pada beberapa kolom terutama pada lantai dasar gedung. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur berpotensi mengalami mekanisme kegagalan strong beam–weak column, yakni kolom terlebih dahulu memasuki kondisi plastis dibanding balok. Mekanisme ini sangat tidak diinginkan dalam desain tahan gempa karena dapat mempercepat terjadinya ketidakstabilan global bangunan.

Evaluasi Kinerja Struktur

Berikut adalah hasil analisis yang ditunjukkan pada gambar 11, 12 dan tabel 11 berikut:



Gambar 11. Idealisasi Respon Struktur Arah X



Gambar 12. Idealisasi Respon Struktur Arah Y

Tabel 13. Perbandingan Parameter Respon Struktur

Parameter	Hasil Analisis		SNI 2847
	Arah X	Arah Y	
R	7.79	4.78	8
Ω	6.04	4.24	3
Cd	6.28	8.87	5.5

Hasil idealisasi pushover untuk arah X menunjukkan bahwa struktur Gedung Klabat Plaza memiliki nilai faktor reduksi gempa $R = 7,79$ yang mendekati nilai $R = 8$ yang direkomendasikan SNI 1726:2019 untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Hal ini menunjukkan bahwa secara global struktur mampu berdeformasi secara inelastik dan memiliki daktilitas yang relatif tinggi. Namun demikian, faktor kuat lebih (Ω) hasil analisis sebesar 6,04 jauh melebihi nilai $\Omega_0 = 3$ yang ditetapkan untuk SRPMK. Overstrength yang sangat besar ini mengindikasikan adanya ketidakteraturan distribusi kekuatan, yang menyebabkan gaya gempa terakumulasi pada elemen tertentu, terutama kolom dasar yang terbukti mencapai kondisi $>CP$ dalam pushover. Faktor perpindahan C_d juga lebih besar (6,28) dibanding nilai $C_d = 5,5$ menurut SNI. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mengalami amplifikasi perpindahan inelastik yang lebih besar dari sistem SRPMK ideal, dipengaruhi oleh geometri split floor dan elemen non-prismatis.

Hasil idealisasi kurva kapasitas untuk arah Y menunjukkan bahwa struktur memiliki nilai faktor reduksi gempa R sebesar 4,78, jauh lebih rendah dari nilai $R = 8$ yang ditetapkan SNI 1726:2019 untuk SRPMK. Rendahnya nilai R ini menunjukkan bahwa daktilitas global struktur pada arah Y tidak memenuhi karakteristik SRPMK. Faktor kuat lebih (Ω) sebesar 4,24 lebih besar dari nilai $\Omega_0 = 3$ dalam SNI. Nilai ini mengindikasikan adanya kelebihan kapasitas yang tidak merata, di mana sebagian elemen struktur, khususnya balok dan beberapa kolom tingkat atas, terlalu kuat dibanding kolom dasar yang relatif lebih lemah. Kondisi ini menunjukkan mekanisme keruntuhan yang tidak ideal. Faktor perpindahan C_d sebesar 8,87 jauh di atas nilai $C_d = 5,5$ milik SRPMK. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mengalami amplifikasi perpindahan inelastik yang sangat besar akibat ketidakteraturan geometri (split floor, variasi dimensi kolom, dan bentang kantilever).

Secara keseluruhan bangunan masih memenuhi kriteria elastis berdasarkan respons spektrum. Namun, pada kondisi gempa kuat, analisis pushover menunjukkan bahwa struktur tidak lagi memenuhi kinerja minimum untuk bangunan eksisting karena sebagian kolom melewati batas Collapse Prevention. Dengan demikian, tanpa tindakan perkuatan, bangunan tidak dapat dinyatakan aman untuk digunakan kembali, terutama jika direncanakan untuk fungsi publik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil investigasi lapangan, pemodelan struktur, serta analisis gempa menggunakan metode respons spektrum dan pushover, dapat disimpulkan bahwa Gedung Klabat Plaza Manado memiliki perilaku struktur yang kompleks akibat kombinasi degradasi material, ketidakaturan geometri, dan konfigurasi sistem penahan gaya lateral yang tidak ideal. Hasil pengujian material menunjukkan bahwa mutu beton pada elemen kolom, balok, dan pelat masih berada dalam kategori mutu normal, dan mutu baja tulangan berada pada kondisi baik. Namun, adanya retak-retak minor, korosi tulangan, serta kondisi bangunan yang telah terbengkalai memberikan indikasi penurunan performa material yang berpotensi mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan. Analisis respons spektrum memperlihatkan simpangan maksimum 43,2 mm pada arah X dan 2,55 mm pada arah Y, dengan nilai drift yang masih memenuhi batas izin SNI 1726:2019 sehingga kinerja elastis bangunan tetap memenuhi standar. Analisis pushover menunjukkan bahwa kapasitas maksimum gaya geser struktur mencapai 36.518 kN (arah X) dan 41.755 kN (arah Y), serta kinerja struktur berada pada level Damage Control. Kolom lantai dasar menjadi elemen pertama yang melewati ambang Collapse Prevention, mengindikasikan mekanisme strong-beam weak-column yang berbahaya pada kondisi gempa besar. Elemen kritis lainnya meliputi balok kantilever dan balok nonprismatis. Kondisi ini menegaskan bahwa struktur tidak lagi memenuhi kinerja inelastik dan tidak aman digunakan tanpa intervensi perkuatan.

Berdasarkan temuan tersebut maka diperlukan tindakan perkuatan struktural yang menjadi syarat utama kelayakan bangunan. Upaya perkuatan dapat dilakukan melalui CFRP wrapping pada kolom dasar, serta peningkatan kapasitas sistem penahan gaya lateral melalui penambahan shear wall atau bracing baja. Inspeksi lanjutan seperti core drill dan half-cell potential test juga perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran lebih akurat mengenai kondisi degradasi material. Jika gedung direncanakan untuk difungsikan kembali, analisis ulang harus disesuaikan dengan beban hidup baru dan rencana penggunaan. Dengan pelaksanaan perkuatan yang tepat, Gedung Klabat Plaza berpotensi memenuhi kembali kinerja struktur sesuai standar terkini dan dapat digunakan secara aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Baillie and J. Decker, "Enigmatic Sulawesi : The Tectonic Collage," *Ber. Sedimentol.*, vol. 48, no. April 2022, pp. 1–30, 2022, doi: 10.51835/bsed.2022.48.1.388.
- [2] A. N. Refani, H. Alrasyid, and M. Irmawan, "Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2012 dan SNI 2847 2013," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, p. 17, 2015, doi: 10.12962/j12345678.v13i2.1586.
- [3] E. A. Krisdianti, K. Kurniawan, D. Sungkono, T. Sipil, F. Teknik, and U. T. Pembangunan, "Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40 Studi Kasus : Bangunan Pasar Jongke," *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 29, no. 2, pp. 7–16, 2024.
- [4] Y. A. Adhitama, B. Supriyadi, and B. Suhendro, "Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur Asce 41-17," *J. Ris. Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.20961/jrrs.v6i1.65864.
- [5] M. Irsyam *et al.*, "Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia," *Earthq. Spectra*, vol. 36, no. 1_suppl, pp. 112–136, 2020, doi: 10.1177/8755293020951206.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *Metode uji angka pantul beton keras (ASTM C805-02, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *Metode Uji Kekerasan Leeb untuk Besi dan Baja*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [8] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, 2019. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [10] CSI, *SAP2000 v26 Structural Analysis and Design*. Computers and Structures, Inc, 2024. [Online]. Available: www.csiamerica.com
- [11] Pusat Studi Gempa Nasional and Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, 1st ed. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [12] Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, vol. 1. 1996. doi: 10.1049/ic:19990660.
- [13] ASCE/SEI, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. 2017.