

KAJIAN PERFORMANCE BASED SEISMIC DESIGN KOLOM KONVENSIONAL DAN KOLOM PARALEL PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

Muhammad Nafis Rahman Afandi¹, Taufiq Rochman²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

Koresponden*, Email: nafisrahman237@gmail.com¹, taufiq.rochman@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Sistem rangka sebagai penahan beban gempa sangat bergantung pada kinerja kolom. Kolom pada gedung bertingkat sangat rentan mengalami kerusakan akibat kombinasi beban lateral gempa dan gravitasi jika kekuatan dan daktilitasnya tidak memadai. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja seismik bangunan gedung bertingkat menggunakan pendekatan *Performance Based Seismic Design* (PBSD). Metode penelitian meliputi pemodelan struktur bangunan 12 lantai dengan perangkat lunak SAP2000 berdasarkan data eksisting. Analisis dilakukan dengan metode *non-linear static pushover analysis* mengacu pada ATC-40. Hasil analisis pushover menunjukkan bahwa struktur mampu mencapai tingkat kinerja immediate occupancy dengan drift ratio sebesar 0,0042 dan memiliki daktilitas yang tinggi ($\mu=3,123$), yang mengindikasikan kemampuan struktur dalam menahan deformasi pascaelastik yang baik. Selain itu juga diperoleh bahwa penulangan terpasang pada elemen balok adalah sebanyak 8-S25 dan 7-S25 untuk daerah sendi plastis dan 5-S25 dan 3-S25 untuk daerah luar sendi plastis, sedangkan pada elemen kolom Sedangkan untuk elemen kolom untuk K1 memerlukan tulangan 42-S25, K2 memerlukan tulangan 34-S25, K3 memerlukan 30-S25 dan untuk K4 memerlukan tulangan 24-S25. Dengan tulangan geser untuk seluruh variasi berjarak 150 mm dan 100 mm.

Kata kunci : *performance based seismic design; pushover analysis; persencanaan struktur*

ABSTRACT

The frame system as an earthquake load resistance is highly dependent on the performance of the columns. Columns in multi-story buildings are highly susceptible to damage due to a combination of lateral earthquake loads and gravity if their strength and ductility are inadequate. This study aims to analyze the seismic performance of high-rise buildings using the *Performance Based Seismic Design* (PBSD) approach. The research method includes modeling a 12-story building structure with SAP2000 software based on existing data. The analysis was performed using the *non-linear static pushover analysis* method in accordance with ATC-40. The pushover analysis results showed that the structure was able to achieve the immediate occupancy performance level with a drift ratio of 0.0042 and had high ductility ($\mu=3.123$), indicating the structure's ability to withstand post-elastic deformation well. It was also found that the reinforcement installed in the beam elements was 8-S25 and 7-S25 for the plastic hinge area and 5-S25 and 3-S25 for the area outside the plastic hinge, while for column elements, K1 requires 42-S25 reinforcement, K2 requires 34-S25 reinforcement, K3 requires 30-S25 reinforcement, and K4 requires 24-S25 reinforcement. The shear reinforcement for all variations is spaced at 150 mm and 100 mm.

Keywords : *performance based seismic design; pushover analysis; structure design*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismic yang tinggi. Hal ini salah satu konsekuensi akibat kondisi geologis Indonesia yang terletak pada Kawasan *ring*

of fire. Sebagaimana yang telah dicatat oleh BNPB dalam rentang waktu 1900-2009 telah terjadi lebih dari 8000 kejadian gempa dengan magnitude lebih dari 5 SR.

Tingginya frekuensi gempa ini menuntut sistem struktur dengan kemampuan yang memadai.

Salah satu sistem yang kerap digunakan untuk menahan gempa adalah sistem rangka beton bertulang. Dalam sistem ini elemen struktur yang memiliki peranan penting adalah elemen kolom, karena merupakan elemen yang berperan dalam menahan gaya aksial dan juga momen secara bersamaan terutama dalam kondisi seismik. Sehingga kurangnya ketahanan pada elemen kolom dapat berpengaruh signifikan dalam kestabilan struktur dan juga menjadi penentu mekanisme runtuh struktur.

Dalam perencanaan *urban architecture* untuk bangunan tinggi umum dikenal perencanaan dengan metode *performance based seismic design* yang menitik beratkan analisis terhadap kemampuan struktur dalam menghadapi beban yang terjadi. Pendekatan desain ini menitikberatkan pada analisis seismik melalui *non linear static pushover analysis*, analisis menyederhanakan beban gempa dan bekerja dalam peningkatan beban secara bertahap sehingga dapat tercapai target perpindahan dan mekanisme keruntuhan plastis.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perencanaan kolom yang tepat merupakan salah satu aspek krusial dalam upaya meningkatkan kinerja seismik struktur yangka beton bertulang. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kenadalan struktur bangunan gedung bertingkat dalam kerangka *performance based seismic design* agar dapat dilakukan identifikasi terhadap kinerja sistem struktur dalam merespons kondisi seismik, khususnya ditinjau perilaku inelastik dan mekanisme keruntuhan struktur.

2. METODE

a. Deskripsi Daerah Studi

Penelitian ini menggunakan model analitis yang disusun dari layout arsitektural bangunan eksisting. Penelitian berlokasi di Jl. Tlogomas No.45, Dusun Rambaan, Landungsari, Kec. Dau, Kota Malang.



Gambar 2. 1. Lokasi Studi

Sumber: Dokumen Proyek

Bangunan model analitis yang ditinjau adalah bangunan perkuliahan dengan tinggi mencapai 39,6 m dengan terdiri dari 12 lantai.

b. Analisa Data

i. Preliminary Design

Preliminary merupakan tahapan awal dalam perencanaan dan analisis struktur.

Tabel 2. 1. Konfigurasi Elemen Struktur

Elemen	Dimensi		
	P	L	T
Pelat			130
Balok Induk	750	400	
Balok Anak	650	350	
Balok	600	250	
Listplank			
Kolom K1	1200		
Kolom K2	1150		
Kolom K3	1100		
Kolom K4	900		

ii. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan merupakan analisis desain pembebanan yang akan terjadi di struktur. Beban sendiri dapat didefinisikan sebagai gaya yang diterima oleh struktur akibat berat bangunan, penghuni dan barang-barang didalamnya, efek lingkungan selisih perpindahan serta gaya kekang akibat peruanan dimensi. Pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa. Adapun analisis pembebanan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari beban mati akibat berat sendiri dan beban mati akibat elemen arsitektural (*Super Impose Dead Load*). Beban mati tambahan diidealisasi sebagai berikut:

Beban mati pada elemen pelat lantai:

Berat keramik : $0,770 \text{ kN/m}^2$

Berat plafond : $0,172 \text{ kN/m}^2$

Berat MEP : $0,190 \text{ kN/m}^2$

Total : $1,132 \text{ kN/m}^2$

Beban mati pada elemen pelat atap:

Berat plafond : $0,172 \text{ kN/m}^2$

Berat MEP : $0,190 \text{ kN/m}^2$

Total : $0,362 \text{ kN/m}^2$

Sedangkan beban dinding diambil parameter untuk keliling bangunan sebesar $1,103 \text{ kN/m}$

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan penggunaan atau pemanfaatan bangunan oleh

penghuni bangunan atau seluruh peralatan yang dapat dipindahkan. Beban hidup dapat diidealisasi dengan mengambil beban hidup sesuai dengan pemanfaatan bangunan, dalam hal ini diambil beban hidup sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$ yang merupakan beban hidup terberat dan mewakili fungsi bangunan sebagai bangunan perkuliahan.

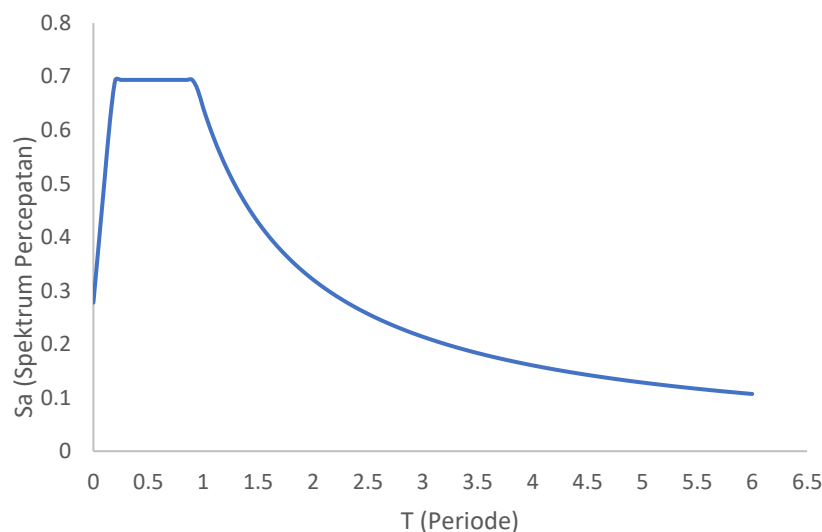
3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan oleh pengaruh Gerakan tanah akibat gempa yang bekerja secara horizontal. Salah satu analisis gempa yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan analisis respons spektrum ragam.

Tabel 2. 2. Nilai Respons Spektrum Desain

T	Sa	T	Sa	T	Sa
0,000	0,297	0,700	0,743	2,500	0,257
0,050	0,426	0,800	0,743	3,000	0,214
0,100	0,555	0,864	0,743	3,500	0,183
0,150	0,684	0,900	0,713	3,750	0,171
0,173	0,743	1,000	0,642	4,000	0,160
0,200	0,743	1,100	0,583	4,500	0,143
0,300	0,743	1,200	0,535	4,750	0,135
0,400	0,743	1,500	0,428	5,000	0,128
0,500	0,743	1,750	0,367	5,500	0,117
0,600	0,743	2,000	0,321	6,000	0,107

Dari hasil analisis nilai respons spektrum desain dapat diplot kedalam kurva respons spektrum desain.



Gambar 2. 2. Kurva Respons Spektrum Desain

4. Kombinasi Beban

Kombinasi beban mengacu pada SNI 1727:2020 dengan menggunakan kombinasi beban LRFD dan berfokus kepada kombinasi beban mati, beban hidup dan beban gempa untuk arah x dan y.

No	Kombinasi Beban
1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr
3	1,2 D + 1 L + 1,6 Lr
4	1,338 D + 1 L + 1,3 Qex + 0,39 Qey
5	1,338 D + 1 L + 1,3 Qex - 0,39 Qey
6	1,338 D + 1 L - 1,3 Qex + 0,39 Qey
7	1,338 D + 1 L - 1,3 Qex - 0,39 Qey
8	1,338 D + 1 L + 0,39 Qex + 1,3 Qey
9	1,338 D + 1 L + 0,39 Qex - 1,3 Qey
10	1,338 D + 1 L - 0,39 Qex + 1,3 Qey
11	1,338 D + 1 L - 0,39 Qex - 1,3 Qey
12	0,762 D + 1,3 Qex + 0,39 Qey
13	0,762 D + 1,3 Qex - 0,39 Qey
14	0,762 D - 1,3 Qex + 0,39 Qey

No	Kombinasi Beban
15	0,762 D - 1,3 Qex - 0,39 Qey
16	0,762 D + 0,39 Qex + 1,3 Qey
17	0,762 D + 0,39 Qex - 1,3 Qey
18	0,762 D - 0,39 Qex + 1,3 Qey
19	0,762 D - 0,39 Qex - 1,3 Qey

iii. Permodelan Struktur

Dari preliminary desain yang telah dilakukan struktur dapat dimodelkan dengan menggunakan *software* SAP2000. Permodelan dibuat mengikuti layout bangunan eksisting sebagai model analitis dalam penelitian ini.

iv. Pengecekan Ketidakberaturan

Ketidakberaturan struktur merupakan suatu faktor penting yang dapat menentukan keandalan struktur terhadap respons seismic. Ketidakberaturan sendiri dibagi menjadi ketidakberaturan struktur horizontal dan ketidakberaturan struktur vertikal, yang keduanya dapat dianalisis sesuai dengan SNI 1726:2019.

- v. Kontrol Kemampuan Layan
Kemampuan layan merupakan salah satu parimeter yang dapat mengindikasikan kelayakan suatu struktur untuk digunakan oleh pengguna dan memastikan kesatuan antar komponen strukturan dan non-struktural. Salah satu parameter yang dapat ditinjau adalah faktor kestabilan struktur dengan meninjau Tingkat simpangan dan juga efek P-Delta yang terjadi pada struktur.
- vi. Nonlinear Static Pushover Anlysis
Analisis *pushover* merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi perilaku keruntuhan struktur akibat gempa dengan melakukan peningkatan beban secara bertahap sampai sistem struktur mengalami perubahan bentuk dan mencapai keruntuhan. Analisis ini menghasilkan suatu kurva yang menampilkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan titik pada lantai tertinggi bangunan.
- vii. Analisis Kinerja Struktur
Kinerja struktur dapat dianalisis berdasarkan ATC-40 dengan kriteria yang ditentukan oleh *drft ratio* pada suatu sistem struktur.

Tabel 2. 3. Kriteria Level Kinerja

	IO	DC	LS	CP
(δ/h) max	1%	1,5%	2%	0,33.Vi/Pi
Simpangan Inelastic Maksimum	0,5%	0,5%-1,5%	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

- viii. Perencanaan Penulangan Elemen Struktur Atas
Perencanaan elemen struktur berdasarkan pada SNI 2847:2019. Perencanaan elemen struktur meliputi elemen struktur rangka berupa balok induk dan kolom.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengecekan ketidakberaturan struktur

Ketidakberaturan struktur perlu memenuhi tabel 13 dan tabel 14 pada SNI 1726:2019.

Tabel 3. 1. Rekap Ketidakberaturan Horizontal

No	Tipe	Pasal Refrensi	KDS	Keterangan
1a	Ketidakberaturan Torsi	Pasal 7.3.3.4	D-F	Ok
		Pasal 7.8.4.3	C-F	
		Tabel 16	Semua	
		Pasal 11.3.4	Semua	
		Pasal 7.3.4.2	D-F	
		Pasal 7.7.3	B-D	

No	Tipe	Pasal Refrensi	KDS	Keterangan
1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan	Pasal 7.12.1	D-F	Ok
		Pasal 7.3.3.4		
		Pasal 7.8.4.3	C-F	
		Tabel 16	Semua	
2	Ketidakberaturan Sudut Dalam	Pasal 11.3.4	Semua	Tidak
		Pasal 7.3.4.2	D-F	
		Pasal 7.7.3	B-D	
		Pasal 7.12.1	D-F	
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	Pasal 7.3.3.4	D-F	Ok
		Tabel 16	Semua	
		Pasal 7.3.3.4	D-F	
		Tabel 16	Semua	
4	Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	Pasal 7.3.3.3	Semua	Ok
		Pasal 7.7.3	B-D	
		Pasal 7.3.3.4	D-F	
		Tabel 16	Semua	
5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	Pasal 7.5.3	C	Ok
		Tabel 16	Semua	
		Pasal 7.5.3	C	
		Tabel 16	Semua	

Berdasarkan **Tabel 3. 1** didapatkan bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2.

Tabel 3. 2. Rekap Ketidakberaturan Vertikal

No	Tipe	Pasal Refrensi	KDS	Keterangan
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	Tabel 16	D-F	Ok
		Pasal 7.3.3.1	D-F	
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan	Tabel 16	D-F	Ok
		Tabel 16	D-F	
2	Ketidakberaturan Massa	Tabel 16	D-F	Ok
		Tabel 16	D-F	

No	Tipe	Pasal Refrensi	KDS	Keterangan
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal	Tabel 16	D-F	Ok
4	Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang Pada elemen Vertikal	Pasal 7.3.3.3 Tabel 16	Semua D-F	Tidak
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat	Pasal 7.3.3.1	E-F	Ok
	Diskontinuitas Kekauan Lateral Tingkat Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat	Tabel 16	D-F	Ok
5a	Diskontinuitas Kekauan Lateral Tingkat	Pasal 7.3.3.1	D-F	Ok
		Pasal 7.3.3.2 Tabel 16	B-C D-F	
Maka diperoleh bahwa struktur memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 4. Sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut sesuai dengan pasal-pasal refrensi yang ada pada tabel.				
i.	Kontrol Kemampuan Layan			
	Analisis kemampuan layan dapat diidentifikasi dengan menggunakan simpangan antar Tingkat pada arah x dan juga arah y.			

Tabel 3. 3. Analisis Simpangan Antar Tingkat				
Lantai	δx	$\Delta I\ x$	Kontrol	$\Delta a'\ x$
Dak Atap	0,083193	14,76288	<	36
Lantai 10	0,077786	17,12734	<	36
Lantai 9	0,071513	19,56552	<	36
Lantai 8	0,064347	21,91906	<	36
Lantai 7	0,056319	24,01322	<	36
Lantai 6	0,047524	25,58043	<	36
Lantai 5	0,038155	26,05005	<	36
Lantai 4	0,028614	24,81867	<	36
Lantai 3	0,019524	23,04669	<	36
Lantai 2	0,011083	19,1587	<	36
Lantai 1	0,004066	11,10151	<	36
Base	0	0		36
Lantai	δy	$\Delta I\ y$	Kontrol	$\Delta a'\ y$
Dak Atap	0,088228	18,10407	<	36
Lantai 10	0,082535	20,53364	<	36

Lantai 9	0,076078	23,32891	<	36
Lantai 8	0,068742	26,22594	<	36
Lantai 7	0,060495	28,92581	<	36
Lantai 6	0,051399	31,09143	<	36
Lantai 5	0,041622	32,29985	<	36
Lantai 4	0,031465	31,97231	<	36
Lantai 3	0,021411	29,81623	<	36
Lantai 2	0,012035	24,45783	<	36
Lantai 1	0,004344	13,81417	<	36
Base	0	0		36

Sehingga diapat disimpulkan bahwa simpangan antar Tingkat pada struktur memenuhi persyaratan yang berlaku.

Selain simpangan antar tingakt juga perlu dilakukan analisis P-Delta effect untuk mengetahui kestabilan struktur.

Tabel 3. 4. Pengaruh P-Delta

Lantai	$\theta_i\ x$	θ_{max}	Cek
Dak Atap	0,007618	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 10	0,011242	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 9	0,016284	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 8	0,022051	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 7	0,028449	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 6	0,034366	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 5	0,038507	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 4	0,040086	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 3	0,039407	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 2	0,034765	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 1	0,022092	0,090909	Struktur Stabil
Base	0	0,090909	Struktur Stabil

Lantai	$\theta_i\ y$	θ_{max}	Cek
Dak Atap	0,009923	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 10	0,014445	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 9	0,021184	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 8	0,029504	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 7	0,039299	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 6	0,048816	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 5	0,056132	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 4	0,060544	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 3	0,059207	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 2	0,051072	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 1	0,03143	0,090909	Struktur Stabil
Base	0	0,090909	Struktur Stabil

Sehingga dapat disimpulkan bahwa simpangan antar Tingkat pada struktur memenuhi persyaratan yang berlaku.

Selain simpangan antar tingkat juga perlu dilakukan analisis P-Delta effect untuk mengetahui kestabilan struktur.

Tabel 3. 4. Pengaruh P-Delta

Lantai	$\theta_i x$	θ_{max}	Cek
Dak Atap	0,007618	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 10	0,011242	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 9	0,016284	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 8	0,022051	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 7	0,028449	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 6	0,034366	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 5	0,038507	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 4	0,040086	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 3	0,039407	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 2	0,034765	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 1	0,022092	0,090909	Struktur Stabil
Base	0	0,090909	Struktur Stabil
Lantai	$\theta_i y$	θ_{max}	Cek
Dak Atap	0,009923	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 10	0,014445	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 9	0,021184	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 8	0,029504	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 7	0,039299	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 6	0,048816	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 5	0,056132	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 4	0,060544	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 3	0,059207	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 2	0,051072	0,090909	Struktur Stabil
Lantai 1	0,03143	0,090909	Struktur Stabil
Base	0	0,090909	Struktur Stabil

Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur dapat dinyatakan stabil baik ditinjau dari segi simpangan maupun dari pengaruh P-Delta.

ii. Analisis Kinerja Struktur

Analisis kinerja mengacu pada ATC-40 dengan menerapkan *pushover analysis* sehingga diperoleh hasil *drift ratio* sebesar 0,0043 untuk arah X dan 0,0041 untuk arah Y, sehingga struktur termasuk kedalam level kinerja *Immediate Occupancy* yang artinya bangunan dapat segera digunakan Kembali setelah terjadi gempa.

Selain itu apabila ditinjau dari Tingkat daktilitas struktur mampu mencapai daktilitas di angka 3,123 yang artinya termasuk kedalam kategori struktur yang memiliki daktilitas terbatas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur masih memenuhi kategori daktilitas namun dalam kondisi terbatas.

iii. Perencanaan Penulangan

Perencanaan penulangan dibagi kedalam 2 elemen struktur yaitu elemen balok induk dan juga kolom Berdasarkan analisis perencanaan penulangan balok induk yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kebutuhan tulangannya, sebagai berikut:

a. Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal direncanakan menggunakan tulangan ulir dengan diameter 25 dengan rincian jumlah tulangan berikut:

Tumpuan Atas	: 8 batang
Tumpuan Bawah	: 7 Batang
Lapangan Atas	: 3 Batang
Lapangan Bawah	: 5 Batang

Tulangan tumpuan perlu direncanakan berlapis karena tidak memenuhi persyaratan spasi horizontal tulangan.

b. Tulangan Transversal

Tulangan transversal direncanakan berjumlah 4 kaki menggunakan tulangan polos dengan diameter 12 dengan rincian spasi tulangan untuk daerah sendi plastis 120 mm sedangkan untuk daerah luar sendi plastis sebesar 150 mm.

Sedangkan untuk elemen kolom menghasilkan 4 variasi jenis kolom dengan perbedaan dimensi kolom, dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. 5. Analisis Penulangan Kolom

Elemen	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal
Kolom K1	42-S25	P12-100 P12-150
Kolom K2	34-S25	P12-100 P12-150
Kolom K3	30-S25	P12-100 P12-150

Kolom K4

24-S25

P12-100

P12-150

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa Kesimpulan, antara lain:

1. Berdasarkan analisis pushover yang telah dilakukan didapatkan bahwa *drift ratio* yang terjadi adalah sebesar 0,0042, hal ini mengindikasikan bahwa struktur termasuk kedalam kategori level kinerja *immediate occupancy*. Selain itu jika ditinjau dari Tingkat daktilitas struktur termasuk kedalam struktur yang daktilitas hal ini didukung dengan angka daktilitas yang mencapai 3,123.
2. Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan diperoleh bahwa penulangan balok induk membutuhkan tulangan 8-S25 dan 7-S25 untuk daerah sendi plastis, sedangkan untuk daerah luar sendi plastis membutuhkan tulangan 5-S25 dan 3-S25. Sedangkan untuk elemen kolom untuk K1 memerlukan tulangan 42-S25, K2 memerlukan tulangan 34-S25, K3 memerlukan 30-S25 dan untuk K4 memerlukan tulangan 24-S25. Dengan tulangan geser untuk seluruh variasi berjarak 150 mm dan 100 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Nandharatunnur, "Analisis Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Metode Pushover," 2023.
- 2) E. Banjarnahor, "Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Proyek Pembangunan Gedung Kantor UPPD Medan Utara," 2024.
- 3) F. Hajezi and K. Karimzadeh, "Dynamic and Nonlinear Static Analysis," in *Analysis Procedure for Earthquake Resistant Structure*, Singapore, Springer Nature Singapore, 2018, pp. 449-535.
- 4) A. Y. Prakosa, "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja Dengan Metode Direct Displacement Based Design," 2018.
- 5) Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA 356: *Prestandart and Comentary for The Seismic Rehabilitation of Building*, Washington, D. C: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2000.
- 6) Applied Technology Council (ATC), ATC 40-1: *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*, California: California Seismic Safety Commission, 1996.
- 7) R. Goleorkhi, L. Joseph, R. Klemencic, D. Shook and J. Viise, *Performance Based Seismic Design for Tall Building an Output of The CTBUH Performance Based Seismic Design Working*

- Group, Chicago: Council on Tall Building and Urban Habitat, 2017.
- 8) Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung," 2019.
- 9) Badan Standarisasi Nasional, "SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung," 2020.
- 10) - Badan Standarisasi Nasional, "SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan," 2019.