

ANALISA KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726-2019 PADA GEDUNG KOMISI PEMILIHAN UMUM PROVINSI PAPUA MENGGUNAKAN METODE PUSHOVER

Muhammad Rafly G. Rahayaan¹, Ardi Azis Sila², dan Andung Yunianta³

^{1*} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{2,3*} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{1*}rafly728@gmail.com, ^{2*}ardi.azis.sila@gmail.com, ^{3*}andung.av@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Pada awal tahun 2023 telah terjadi gempa berkekuatan 5,4 magnitudo yang menyebabkan beberapa infrastruktur bangunan di Kota Jayapura mengalami dampak kerusakan. Gedung yang memiliki sifat ketahanan akan bencana gempa mengutamakan keamanan pada pergeseran bangunan dan kinerjanya yang sudah tersistematis. Konsep *Pushover* adalah sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur saat mengalami pengaruh gempa. Tujuan dari penelitian adalah mengetahui nilai *base shear* dan *displacement* dari kedua arah sumbu x dan y pada gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi Papua, serta mengetahui level kemampuan struktur berdasarkan ATC-40. Program Analisis struktur yang digunakan adalah ETABS V20 dengan pemodelan gedung 5 lantai menggunakan pembebanan gempa (*Response Spectrum*) berdasarkan SNI 1726-2019. Dari hasil analisa nilai *base shear* sebesar 9991,0946 kN untuk arah sumbu x dan 5960,9857 kN untuk arah sumbu y, sedangkan nilai simpangan (*displacement*) sebesar 15,622 mm untuk arah Sumbu x dan 23,124 mm untuk arah sumbu y. Pada hasil analisa *Pushover* didapatkan hasil level kinerja struktur gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi papua termasuk kategori IO (*Immediate Occupancy*) dengan nilai hasil 0,00141008 pada arah x dan 0,00140117 pada arah y.

Kata Kunci: Gempa Bumi, *Perfomanced Based Design*, *Pushover*, ATC-40

ABSTRACT

Based on data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG). At the beginning of 2023, there was an earthquake with a magnitude of 5.4 which caused damage to several building infrastructures in Jayapura City. Buildings that have earthquake resistance characteristics prioritize safety in building shifts and their systematic performance. The *Pushover* concept is a means to determine the capacity of a structure when it is affected by an earthquake. The purpose of this study was to determine the value of base shear and displacement from both directions of the x and y axes in the General Elections Commission building of Papua Province and to determine the level of structural capability based on ATC-40. The structural analysis program used is ETABS V20 with modeling of a 5-story building using earthquake loading (*Response Spectrum*) based on SNI 1726-2019. From the analysis results, the base shear value is 9991.0946 kN for the x-axis direction and 5960.9857 kN for the y-axis direction, while the displacement value is 15.622 mm for the x-axis direction and 23.124 mm for the y-axis direction. In the *Pushover* analysis results, the results of the performance level of the Papua Provincial Election Commission building structure are included in the IO (*Immediate Occupancy*) category with a result value of 0.00141008 in the x direction and 0.00140117 in the y direction.

Keywords: Earthquake, *Performance Based Design*, *Pushover*, ATC-40

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), pada 2 Januari 2023 sampai 9 Februari 2023 daerah wilayah Kota Jayapura telah mengalami gempa susulan sebanyak 1.079 kali dengan 132 kejadian yang dapat dirasakan penduduk wilayah Kota Jayapura. Gempa yang terjadi pada 9 Februari 2023 memiliki kekuatan gempa sebesar 5,4 Magnitudo, akibat dari adanya gempa bumi ini memberikan dampak kerusakan, terutama pada bangunan umum, perumahan dan perkantoran di sekitaran Kota Jayapura.

Seiring dengan adanya bencana gempa berkembangnya perencanaan pembangunan di setiap wilayah Indonesia dalam menanggulangi dampak gempa bumi pada gedung untuk kemaslahatan manusia. *Static Nonlinear Pushover Analysis* merupakan metode analisis yang mementingkan kemampuan bangunan pasca gempa. Berdasarkan penjelasan tersebut penulis mencoba menganalisa struktur beton bertulang pada gedung Komisi Pemilihan umum Provinsi Papua menggunakan metode *Pushover* yang didasari ketahanan gempa SNI 1726-2019 dengan bertujuan mengetahui nilai *base shear* dan *displacement* serta hasil kinerja gedung yang dipakai adalah *ATC-40*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Bencana gempa merupakan pergerakan lempeng secara mendadak yang menimbulkan gelombang seismik pada lempeng bumi. Dampak yang dihasilkan bersifat destruktif pada gedung dan non gedung, korban jiwa dan juga menimbulkan tsunami. Bencana ini sampai sekarang belum bisa di prediksi.

2.2 Perhitungan Bangunan Tahan Gempa

Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726: 2019 merupakan pedoman dalam merencanakan ketahanan gempa pada struktur bangunan gedung dan non gedung, adapun persyaratan yang perlu dianalisis untuk mengetahui kinerja struktur.

a) Kontrol Periode Fundamental

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (1)$$

Keterangan :

T_a : Periode pendekatan

H_n : Tinggi keseluruhan Gedung (m)

b) Kontrol Gaya Geser Dasar dan Penskalaan Gaya

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (2)$$

Keterangan

C_s : koefisien respons seismik

SDS : Percepatan desain periode pendek

R : Koefisien modifikasi respons

I_e : Faktor keutamaan gempa

$$\text{Faktor Skala arah} = \frac{100\% V_{statik}}{V_{dinamik}} \quad (3)$$

c) Pengaruh P-Delta

$$\theta = \frac{P_x \Delta_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (4)$$

Keterangan :

θ : Koefisien stabilitas

P_x : Total pembebanan vertical

Δ : Simpangan pada tiap lantai, terjadi secara serentak

I_e : Faktor keutamaan hunian

Vx : Gaya seismic, pada tingkat atas
Hsx: Tinggi antar lantai
Cd : faktor defleksi

2.3 Metode *Pushover*

Metode *pushover* adalah metode yang cara kerjanya dengan analisa non linier atau dinamis. Sesuai dengan peraturan gempa tahun 2002, analisa *Pushover* adalah memberi desain beban dorong terhadap struktur yang dipengaruhi oleh gempa rencana secara berangsur-angsur hingga struktur sampai pada batas plastis (pelelehan). Metode *Pushover* memiliki tujuan dalam menilai kemampuan struktur pasca gempa yang direncanakan sehingga dapat mengetahui poin-poin penting seperti nilai daktilitas, hasil kemampuan struktur saat terjadi gempa, kurva kapasitas dan mempresentasikan kelelahan pada bagian struktur bangunan yang terjadi (Pranata, 2006).

Tabel 1. Level Kinerja ATC-40

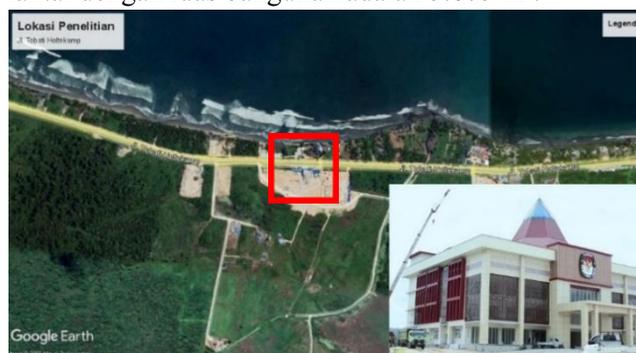
Tingkat Kinerja ATC-40				
Kriteria	<i>IO</i>	<i>DC</i>	<i>LS</i>	<i>SS</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 - 0,015	<i>no limit</i>	<i>no limit</i>

(Sumber : ATC-40, 1996)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi gedung yang ditinjau merupakan gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi Papua yang berlokasi di Jl. Holtekamp, Muara Tami, Kota Jayapura. Fungsi bangunan ini sebagai perkantoran daerah yang memiliki 4 lantai dengan luas bangunan adalah 5.875 m².



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2023)

3.2 Prosedur Pengumpulan Data

Bagian tahapan ini melingkupi sebagai berikut :

- a) Tahapan studi literatur dengan mencari dan mempelajari sumber dari buku pedoman, jurnal ilmiah dan berbagai sumber internet yang berhubungan dengan analisa kinerja struktur dan metode *Pushover*.
- b) Tahapan studi dokumen yang didapatkan langsung yaitu berupa data sekunder mengenai data umum spesifikasi dan material struktur gedung yang dianalisis.

3.3 Metode Analisis Data

Prosedur analisis data melingkupi sebagai berikut :

- a) Menghitung pembebanan gravitasi dan gempa sesuai pedoman SNI 1727-2019 yang digunakan.
- b) Membuat pemodelan struktur melalui alat bantu aplikasi *ETABS* sesuai data sekunder gedung yang telah didapatkan.
- c) Mengecek Persyaratan gedung berupa kontrol simpangan, P-Delta, partisipasi massa dan penskalaan gempa (SNI 1726-2019).
- d) Menganalisa dan menentukan level kinerja struktur metode pushover berdasarkan ATC-40

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kontrol Periode Fundamental

Analisis dilakukan secara manual mengingat adanya perbedaan peraturan pada program *ETABS*. Periode fundamental (T) pada arah yang dihasilkan tidak disyaratkan apabila hasil perkalian koefisien untuk batasan periode tidak lebih atau kurang.

Tabel 2. Nilai Periode Fundamental

Arah	Tipe Struktur	Tinggi Gedung (m)	Tmin Ta	Tmax Cu*Ta	ETABS Tc
Sumbu X	SRPMK	20	0,6907	0,967	0,889
Sumbu Y	SRPMK	20	0,6907	0,967	0,781

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari tabel diatas kontrol periode yang digunakan adalah nilai Tc arah x = 0,889, dan arah y = 0,781 yang didapatkan dari hasil Analisis ETABS

4.2 Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil analisis dari program ETABS yang mengikuti persyaratan SNI 1726-2019 mengenai penentuan ragam getar alami menghasilkan nilai sebagai berikut.

Tabel 3. Partisipasi Massa Gedung

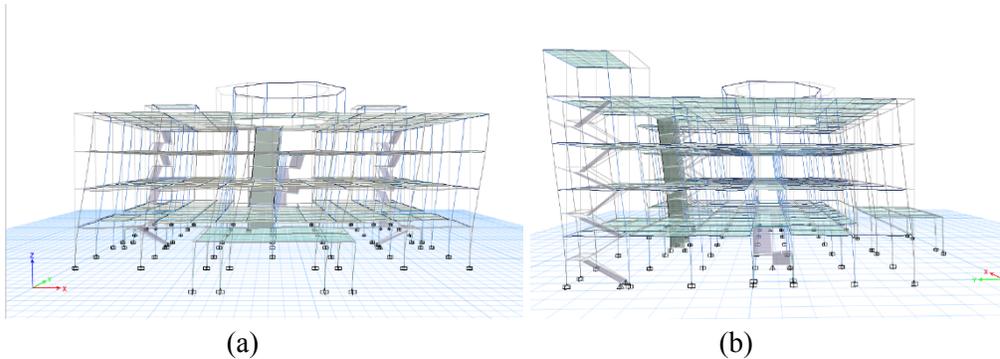
Ragam	Periode	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0,8890	0,2639	0,0173	0,2639	0,0173
2	0,7810	0,0073	0,7358	0,2712	0,7531
3	0,5420	0,5077	0,0001	0,7789	0,7532
4	0,2870	0,0458	0,0018	0,8247	0,7550
5	0,2450	0,0028	0,1298	0,8274	0,8849
6	0,2210	0,0667	0,0014	0,8941	0,8862
7	0,2020	0,0002	0,0033	0,8943	0,8895
8	0,1940	0,0078	0,0001	0,9021	0,8896
9	0,1800	0,0030	0,0000	0,9051	0,8896
10	0,1790	0,0001	0,0001	0,9052	0,8898
11	0,1780	0,0002	0,0002	0,9053	0,8900
12	0,1740	0,0000	0,0244	0,9053	0,9144

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

13	0,1660	0,0078	0,0001	0,9132	0,9145
14	0,1640	0,0016	0,0119	0,9148	0,9264
15	0,1610	0,0089	0,0041	0,9236	0,9305
16	0,1600	0,0032	0,0001	0,9268	0,9306
17	0,1510	0,0000	0,0021	0,9268	0,9327
18	0,1470	0,0001	0,0004	0,9269	0,9332
19	0,1450	0,0002	0,0043	0,9271	0,9374
20	0,1420	0,0031	0,0001	0,9302	0,9375

(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Dari hasil partisipasi massa pada tabel diatas dapat dilihat ragam getar alami dari hasil *output* program analisis ETABS pada kedua tampilan gedung dibawah ini.



Gambar 2. Ragam Alami Struktur Arah X (a), dan Ragam Alami Struktur Arah Y (b)
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

4.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan hasil yang didapat kontrol gaya geser menampilkan nilai-nilai sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai Kontrol Gaya Geser

Arah	Cs	Cs Max	Cs Min	Cs Pakai
Sumbu X	0,1000	0,1139	0,0352	0,1000
Sumbu Y	0,1000	0,1297	0,0388	0,1000

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai Cs yang didapatkan tidak kurang dari Cs min dan tidak melewati Cs Max sehingga nilai Cs dapat dipakai.

Tabel 5. Nilai hasil Vstatik dan Vdinamik

Arah	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	5553,3682	3292,6333	Tidak Memenuhi
Arah Y	5553,3682	4204,5703	Tidak Memenuhi

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Pada tabel diatas dapat dijelaskan bahwa nilai V_{statik} tidak memiliki nilai yang sama dengan $V_{dinamik}$ yang tidak memenuhi syarat, sehingga perlu dilakukan penskalaan, hal ini dikarenakan dalam persyaratan SNI 1726-2019 nilai V_{statik} harus sama dengan $V_{dinamik}$.

Tabel 6. Nilai Hasil Penskalaan V_{statik} dan $V_{dinamik}$

Arah	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Kontrol
Arah X	5553,3682	5553,3682	Memenuhi
Arah Y	5553,3682	5553,3682	Memenuhi

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Setelah dilakukan penskalaan dapat dilihat nilai V_{statik} dan nilai $V_{dinamik}$ sudah sama, sehingga untuk penskalaan sudah memenuhi syarat.

4.4 *Displacement* dan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan hasil *output* program bantu *ETABS* didapatkan nilai *displacement* pada arah x dan arah y, sehingga dapat mengetahui nilai *elastic drift*, *inelastic drift* serta batas atau *drift limit* sebagai berikut.

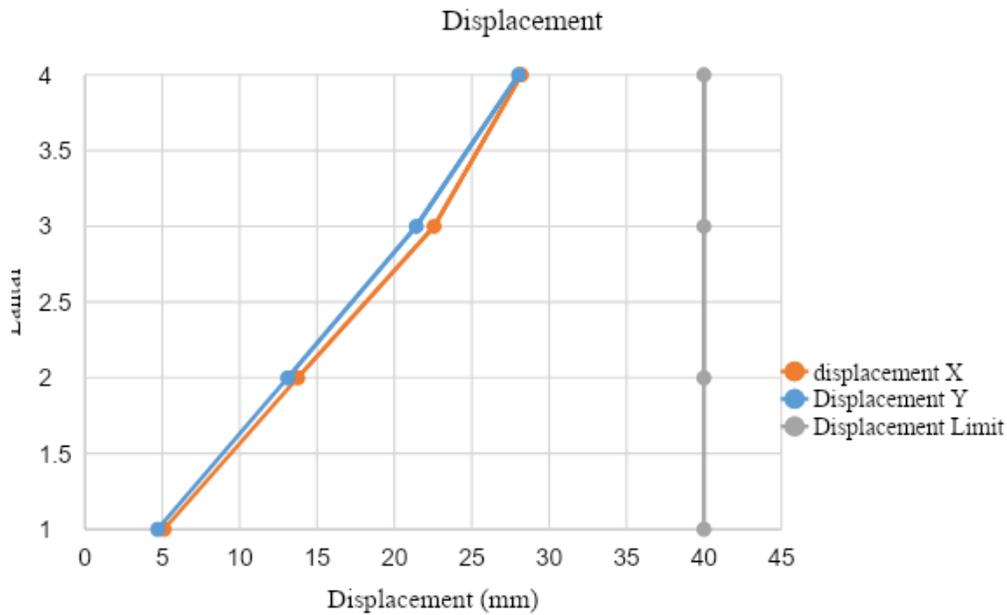
Tabel 7. Nilai *Displacement* dan Simpangan Antar Lantai

Lantai	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i> <i>tinggi</i> <i>lantai</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift</i> <i>Limit</i>
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
4	28,2016	28,0235	5,634	6,614	4000	30,989	36,376	61,538
3	22,5671	21,4097	8,815	8,304	4000	48,482	45,671	61,538
2	13,7523	13,1059	8,632	8,399	4000	47,476	46,195	61,538
1	5,1203	4,7068	5,120	4,707	4000	28,162	25,888	61,538

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

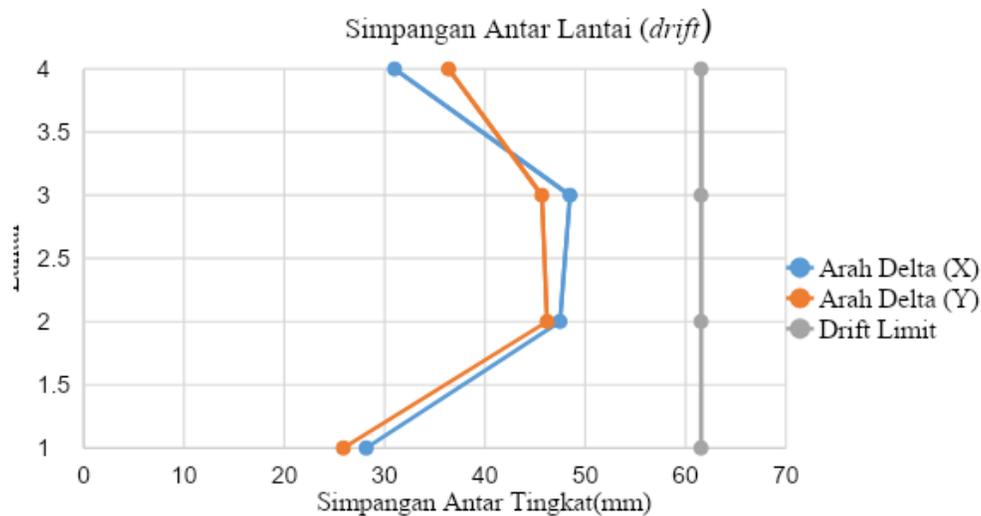
Dari tabel diatas dapat diketahui grafik *Displacement* dan *inelastic drift* arah x dan y sebagai berikut.

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 3. Grafik *Displacement* arah x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari hasil grafik diatas dapat diketahui bahwa *displacement* pada arah x dan arah y meningkat dari tiap-tiap lantai dan tidak melewati batas atau *limit displacement* sehingga *displacement* pada gedung dapat dikatakan memenuhi syarat.



Gambar 4. Grafik Simpangan Antar Lantai (*Drift*) x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada arah x mengalami peningkatan simpangan sampai pada lantai ke-3 dan mengalami penurunan pada lantai ke-4, sedangkan pada arah y meningkatnya simpangan hanya sampai di lantai ke-2 dan mengalami penurunan dari lantai ke-3 dan lantai 4. Berdasarkan hasil simpangan pada arah x dan arah y tidak melewati batas atau *drift limit* sehingga dapat dikatakan memenuhi syarat.

4.5 Pengaruh P-Delta

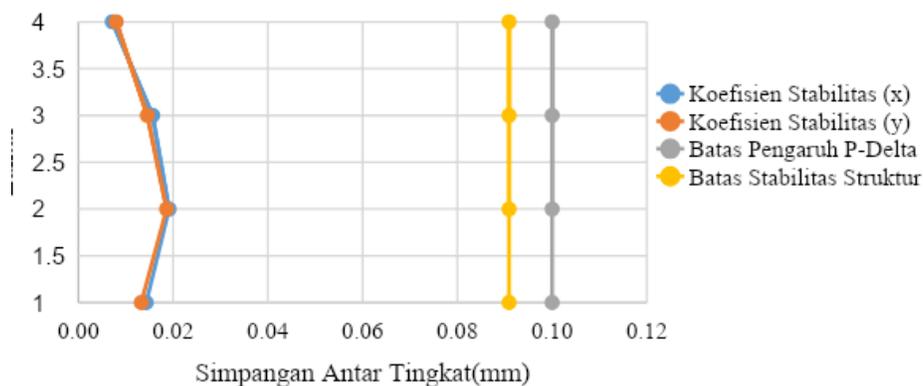
Berdasarkan hasil yang didapatkan pada nilai *inelastic* dan *story forces* yang didapatkan dari nilai *output* ETABS maka dapat dilihat nilai koefisien stabilitas θ pada tabel sebagai berikut.

Tabel 8. Nilai Hasil pengaruh P-Delta

Lantai	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y		
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)					
4	30,989	36,376	10128,7	1985,5	2097,5	4000	0,0072	0,0080	0,1	0,0909
3	48,482	45,671	27202,6	3822,9	3878,6	4000	0,0157	0,0146	0,1	0,0909
2	47,476	46,195	44295,5	4993,2	4995,9	4000	0,0191	0,0186	0,1	0,0909
1	28,162	25,888	61754,0	5516,3	5466,8	4000	0,0143	0,0133	0,1	0,0909

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan hasil nilai koefisien stabilitas yang didapatkan dari perhitungan P-Delta dari nilai *inelastic drift* dan nilai *story force* (P , V_x dan V_y) yang sebelumnya didapatkan melalui hasil analisis program ETABS.

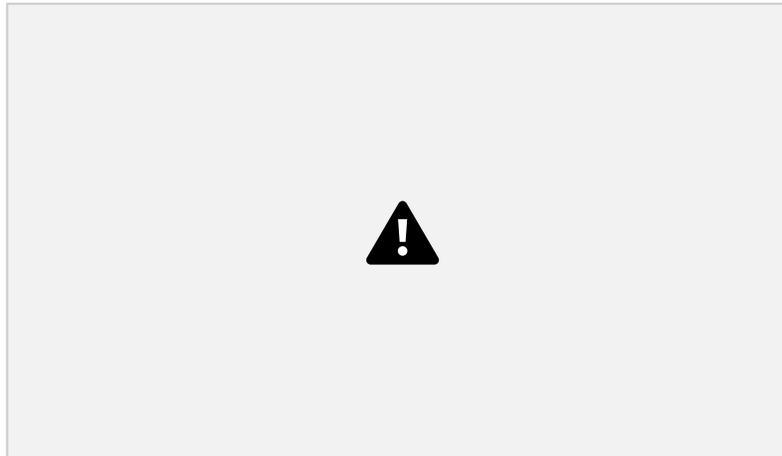


Gambar 5. Grafik P-Delta arah x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien stabilitas pada arah x dan arah y mengalami kenaikan pada lantai ke-1 dan lantai ke-2 tetapi pada lantai ke-3 dan ke-4 mulai mengalami penurunan nilai koefisien stabilitas dari hasil kedua arah tersebut juga tidak melampaui batas pengaruh P-Delta dan batas stabilitas struktur sehingga persyaratan P-Delta pada gedung dapat dikatakan aman.

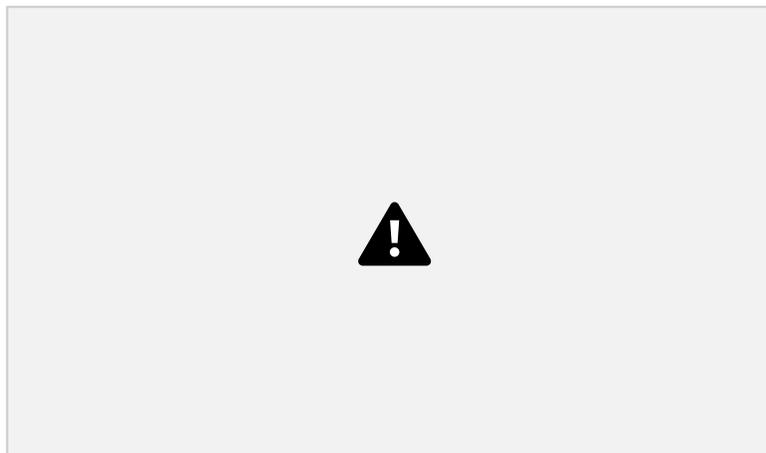
4.6 Pushover

Hasil analisis pushover terdiri dari kurva kapasitas pada gedung yang dihasilkan dari *output* program analisis ETABS sebagai berikut.



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah x
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Pada gambar kurva diatas dapat diketahui nilai kurva kapasitas arah sumbu x memiliki nilai simpangan (*Base Shear*) adalah 9991,9046 kN dan nilai simpangan y yang didapatkan adalah 15,622 mm.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah y
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Pada gambar kurva diatas dapat diketahui nilai kurva kapasitas arah sumbu y memiliki nilai simpangan (*Base Shear*) adalah 5860,9857 kN dan nilai simpangan y yang didapatkan adalah 23,124 mm.

4.7 Kinerja Struktur ATC-40

Berdasarkan ketentuan ATC-40 level kinerja struktur dapat ditentukan dari perbandingan nilai perpindahan terhadap tinggi struktur yaitu 20000 mm dibagi dengan nilai *drift* arah x = 26,8765 mm

dan nilai *drift* arah y = 33,3804 mm, sehingga hasil dari perhitungan tersebut dapat menentukan level kinerja sesuai pada tabel 1.

Tabel 9. Nilai *maximum total drift* dan penentuan kinerja struktur

Arah	<i>Maximum Total Drift</i> (mm)	Level kinerja struktur
Arah x	0,001343825	<i>immediate Occupancy</i>
Arah y	0,001674020	<i>immediate Occupancy</i>

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Pada tabel diatas dapat dijelaskan bahwa nilai *maximum total drift* pada arah x = 0,001343825, dan arah y = 0,001674020 apabila dikategorikan berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur berada dalam kondisi *immediate Occupancy*.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan selama dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan nilai gaya geser yang dapatkan pada sumbu arah x menghasilkan 9991,0946 kN dan nilai simpangan (*Roof Displacement*) didapatkan 15,622 mm, sedangkan nilai gaya geser (*Base Shear*) yang dapatkan pada sumbu arah y menghasilkan 5960,9857 kN dan nilai simpangan (*Roof Displacement*) didapatkan 23,124 mm. Dari hasil tersebut diketahui nilai *base shear* x lebih besar daripada *base shear* y, sedangkan nilai Simpangan (*Roof Displacement*) pada sumbu x lebih kecil dari pada sumbu y, sehingga nilai hasil batas simpangan tidak melewati 61,538 mm dan masih dibatas aman.
- Level kinerja pada gedung Komisi Pemilihan Umum berdasarkan ATC-40 adalah *Immediate Occupancy* atau dimana bila terjadi gempa keadaan struktur masih kuat dan kaku seperti kondisi awal, sistem pemikul gaya masih mampu menahan gaya gempa dengan nilai *Max Drift Total* yang diperoleh pada arah x = 0,00141008 dan arah y = 0,00140117.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Ainnurohman, 2019. “Analisa Perbandingan Kinerja Gedung Struktur Beton Bertulang 9 Lantai Dengan SNI 03-1726-2012 Dan SNI 03-1726-2019 Menggunakan Metode *Pushover*.”
- American Society of Civil Engineer, 2016. “Minimum Design Load for Buildings And Other Structures. ASCE 7-16”
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Beton Bertulang untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 2847:2019). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (SNI 1727:2020). Jakarta: Standar Nasional Indonesia
- Comartin, C. D., Niewiarowski, R. W., Freeman, S. A., & Turner, F. M. (2000). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings: a practical overview of the ATC 40 Document. Earthquake Spectra*, 16 (1), 241-261.
- Fatmawati Anisa, Wisnumurti, Ari Wibowo. 2014. “Analisa Pushover Untuk Performanced Based Design”
- Irianto, I., Mabui, D. S., & Sila, A. A. (2022). Durability of Residual Strength on Ac-Wc Mixture Using Bottom Ash As Fine Aggregate
- Irianto, I., Reny, R., Franky, E. L., Mabui, D. S., Holong Sitorus, P., Mansur, M., ... & Ardi, A. S. (2022). Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-16 dengan tema" Resilience Of Construction Industry In Post-Pandemic Era".

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- Marsa A. Tyarpratama, 2017. “Analisis Statik Non-Linier Pushover pada optimasi. Desain Gedung Pendidikan Bersama FKUB Dengan Variasi Konfigurasi Dinding Geser”. Universitas Brawijaya.
- Tavio, Usman Wijaya, 2018. “Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performanced Based Design)”
- Yunianta, A., Astari, M. D., Rochmawati, R., Sila, A. A., Widiati, I. R., Lapian, F. E. P., & Mabui, D. S. S. (2022). Pengujian Tanah Di Laboratorium. TOHAR MEDIA.