



Analisis *Pushover* Pada Gedung Fakultas Hukum Unsrat Dengan Menggunakan *SAP2000*

Elsa A. Rattu^{#a}, Reky S. Windah^{#b}, Marthin D. J. Sumajouw^{#c}

[#]Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia
^aelsarattu021@student.unsrat.ac.id, ^brekywindah@unsrat.ac.id, ^cdody_sumajouw@unsrat.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan sebuah negara yang terletak pada wilayah Cincin Api Pasifik (*The Pasific Ring of Fire*) dan berada pada wilayah pertemuan 3 lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia, dimana kondisi ini erat kaitannya dengan fenomena gempa bumi. Hal ini membutuhkan adanya analisa dan metode yang tepat untuk dapat memperkirakan ketahanan suatu struktur bangunan dari kerusakan akibat gempa. Metode analisis *Pushover* merupakan salah satu komponen *Performance Based Design* yang menjadi sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur dan juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis sampai terjadinya keruntuhan akibat gempa. Salah satu software yang membantu para peneliti untuk menemukan hasil simulasi yang akurat sebelum diaplikasikan pada kenyataannya yaitu program aplikasi *SAP2000*, dengan beragam permasalahan pada konstruksi yang dapat di analisa menggunakan software ini. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai *performance point* dari *displacement* dan *base shear* untuk arah X yaitu sebesar (847,49 mm; 17592,446 kN). Sedangkan untuk arah Y nilai *displacement* dan *base shear* sebesar (531,898 mm; 29349,096 kN). Nilai Simpangan Total Maksimum = 0,016 mm pada arah X dan 0,012 mm pada arah Y. Untuk Simpangan Inelastis Maksimum yaitu pada arah X = 0,0162 mm dan pada arah Y = 0,0094 mm, yang menandakan struktur termasuk pada level kinerja Damage control sesuai pada acuan level kinerja ATC-40. Berdasarkan hasil ratio drift performance level Gedung Fakultas Hukum 12 Lantai UNSRAT, yang tergolong pada level kinerja Damage control yaitu menunjukan kondisi dimana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan tidak ada kerusakan yang cukup signifikan yang terjadi pada struktur. Ini berarti struktur tersebut dapat dioperasikan kembali. bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.

Kata kunci: gempa, SNI 1729-2019, *pushover*, level kinerja, ATC-40

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat adanya pergerakan lempeng tektonik. Indonesia merupakan sebuah negara yang terletak pada wilayah Cincin Api Pasifik (*The Pasific Ring of Fire*) dan berada pada wilayah pertemuan 3 lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik, dimana kondisi ini erat kaitannya dengan fenomena gempa bumi dan gunung meletus, yang berpotensi besar memicu kegagalan konstruksi. Hal ini membutuhkan adanya analisa dan metode yang tepat untuk dapat memperkirakan ketahanan suatu struktur bangunan dari kerusakan akibat gempa.

Metode analisis *Pushover* merupakan salah satu komponen *Performance Based Design* yang menjadi sarana untuk mengetahui bagaimana respon suatu struktur akibat kondisi gempa. Sebagai tata cara perencanaan dan standarisasi ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung yang berlaku saat ini, maka dari itu untuk menghitung respons bangunan akibat gempa kita mengacu pada SNI 1726 2019.

Dalam dokumen *Applied Tecnology Council (ATC)-40*, Tingkat kinerja sebuah bangunan menunjukkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa. Kondisi ini dijelaskan melalui

deskripsi kerusakan fisik yang dialami bangunan, tingkat bahaya akibat kerusakan yang terjadi terhadap pengguna bangunan, dan kemampuan layan bangunan pasca gempa.

Salah satu software pendukung dalam analisis *pushover* adalah *SAP2000*. Software ini dapat membantu para Engineer untuk melakukan analisa struktur pada bidang teknik sipil, dengan beragam permasalahan pada konstruksi. Maka dari itu penulis akan menganalisis struktur beton dengan metode *pushover* menggunakan *SAP2000*. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan struktur gedung 12 lantai pada Gedung Fakultas Hukum Unsrat Manado.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada di atas maka dalam tugas akhir ini masalah yang dapat diangkat adalah :

1. Analisa ketahanan struktur beton akibat kondisi gempa hingga mengalami keruntuhan;
2. Analisa metode *pushover* menggunakan software *SAP2000*;
3. Analisis level kinerja yang mengacu pada ATC-40

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung Fakultas Hukum 12 Lantai UNSRAT, terhadap gaya geser yang terjadi akibat kondisi gempa berdasarkan metode analisis *pushover*, serta untuk dapat mengetahui level kinerja dari struktur gedung yang mengacu pada *ATC-40* dengan menggunakan software *SAP2000*.

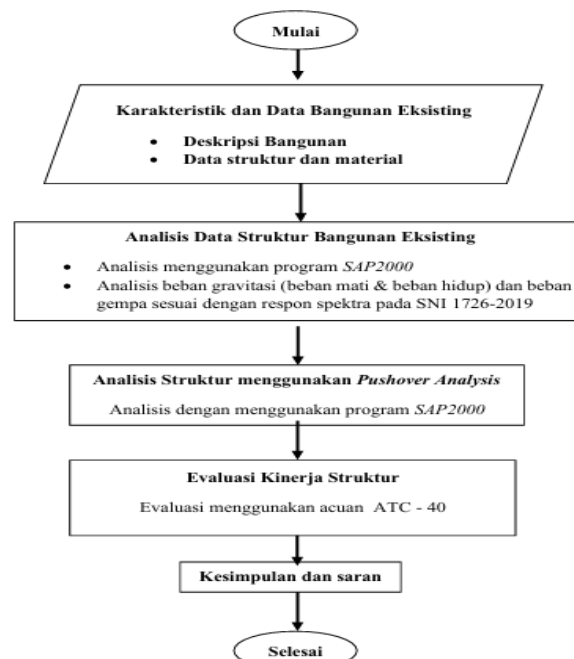
2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada gedung pendidikan fakultas hukum 12 lantai Universitas Sam Ratulangi Manado.

2.1 Data-data Penelitian

- Data Struktur
- Data Pembebanan
- Data Gempa Lokasi Penelitian

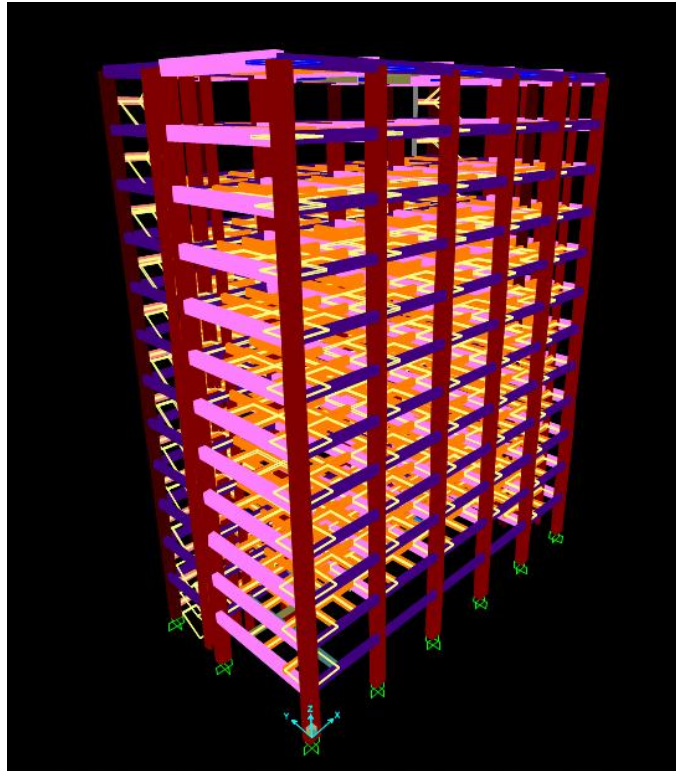
2.2 Bagan Alir



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada SAP2000 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Struktur

4 Analisis Dan Pembahasan

4.1. Analisis Pembebanan

4.1.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi pada struktur terdiri dari beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban mati tambahan (*super imposed dead load*).

1. Beban Mati (*dead load*), untuk beban mati struktur akan dianalisis secara otomatis oleh program *SAP2000*. Beban mati struktur terdiri atas berat balok, pelat, dan kolom dengan berat sendiri struktur sebesar 2400 kg/m³.
2. Beban Hidup

- Koridor	= 4,79 kN/m ²
- Ruang Kelas	= 1,92 kN/m ²
- Kantor	= 2,4 kN/m ²
- Toilet	= 2,87 kN/m ²
- Storage	= 3,83 kN/m ²
- Ruang Pertemuan	= 4,79 kN/m ²
- Perpustakaan/Ruang baca	= 2,87 kN/m ²
- Tangga	= 4,79 kN/m ²
- Atap	= 0,92 kN/m ²
3. Beban mati tambahan
 Pada pelat lantai :

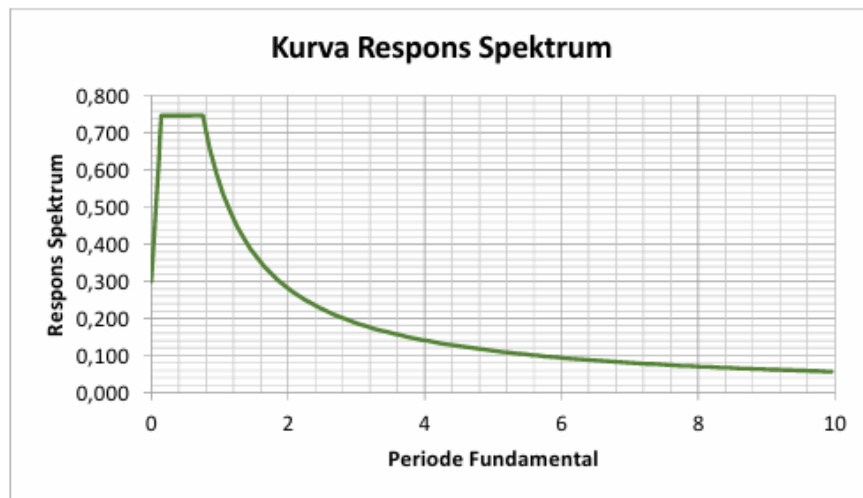
- Keramik (19 mm) + Spesi (25 mm)	= 1,1 kN/m ²
- Penggantung dan Plafond	= 0,18 kN/m ²
- Mekanikal Elektrikal	= 0,19 kN/m ²
- Pipa air bersih dan kotor (Plumbing)	= 0,20 kN/m ²
- Total	= 1,67 kN/m ²

Pada balok :

$$\text{Dinding Pas. } \frac{1}{2} \text{ Bata (1m)} = 2,3 \text{ kN/m}^2$$

4.1.2 Beban Gempa

$$\begin{aligned} S_S &= 1,0329 \text{ g} \\ S_I &= 0,4592 \text{ g} \\ F_a &= 1,0868 \\ F_v &= 1,8408 \\ S_{DS} &= 0,7484 \text{ g} \\ S_{DI} &= 0,5635 \text{ g} \\ S_a &= 0,29934 \\ T_0 &= 0,1506 \text{ detik} \\ T_S &= 0,7530 \text{ detik} \end{aligned}$$



Gambar 3. Grafik Respons Spektrum Berdasarkan Perhitungan

4.2. Kontrol Strruktur

Setelah pemodelan dan pembebanan struktur telah selesai, maka perlu dilakukan pengecekan struktur terhadap standart dan persyaratan yang berlaku.

Berdasarkan hasil analisis dari *SAP2000* diperoleh berat struktur sebesar : $W = 94655,54 \text{ kN}$

Gaya geser : $V = 0,0494 \times 94655,54 \text{ kN} = 4675,44 \text{ kN}$

4.2.1 Pemeriksaan Jumlah Ragam

Tabel 1. Modal Participating Mass Ratios *SAP2000*

Step Num.	Periode (dtk)	Sum U _x	Sum U _y
1	3,298718	0,77431	0,01343
2	3,161419	0,79294	0,66726
3	2,127024	0,79346	0,82588
4	1,002512	0,89957	0,82662
5	0,990632	0,9008	0,90966
6	0,86419	0,9008	0,90972
7	0,819602	0,9008	0,90972
8	0,818537	0,90081	0,90972
9	0,692464	0,90092	0,92775
10	0,552753	0,90122	0,95408
11	0,533308	0,94146	0,9542
12	0,407033	0,9419	0,95459

Jumlah Partisipasi massa pada 12 Mode arah-x dan arah-y > 90% (memenuhi).

4.2.2 Perbandingan Geser Dasar Statik vs Dinamik

SNI 1726: 2019 Pasal 7.9.4.1 tentang skala gaya, mengisyaratkan bahwa gaya geser dinamik harus lebih besar dari 100% gaya geser statik. Jika tidak memenuhi maka diberikan skala gaya. Karena hasil kontrol tidak memenuhi, maka digunakan faktor skala baru untuk di input kembali pada Load Case gempa respons spektrum arah x (E_x) dan arah y (E_y) dengan nilai sebagai berikut :

$$\text{Scale factor } x = g \times \frac{I}{R} \times F_s = 9,81 \times \frac{1,5}{8} \times 1,153 = 2,120$$

$$\text{Scale factor } y = g \times \frac{I}{R} \times F_s = 9,81 \times \frac{1,5}{8} \times 1,248 = 2,295$$

Tabel 2. Base Reactions SAP2000

Output Case	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
SX	3089,012	2,736E-09
SY	4,166E-08	3089,012
DX	4726,086	338,197
DY	366,114	4727,157

Tabel 3. Hasil Penjumlahan Geser Dasar untuk Masing-masing Gempa

Geser Dasar	Dinamik (VD) (kN)	Statik (Vs) (kN)	Faktor Skala (VS/VD)	Kontrol (VD > 100% Vs)
Arah - x	4726,086	3089,012	1,53	Memenuhi
Arah - y	4727,157	3089,012	1,53	Memenuhi

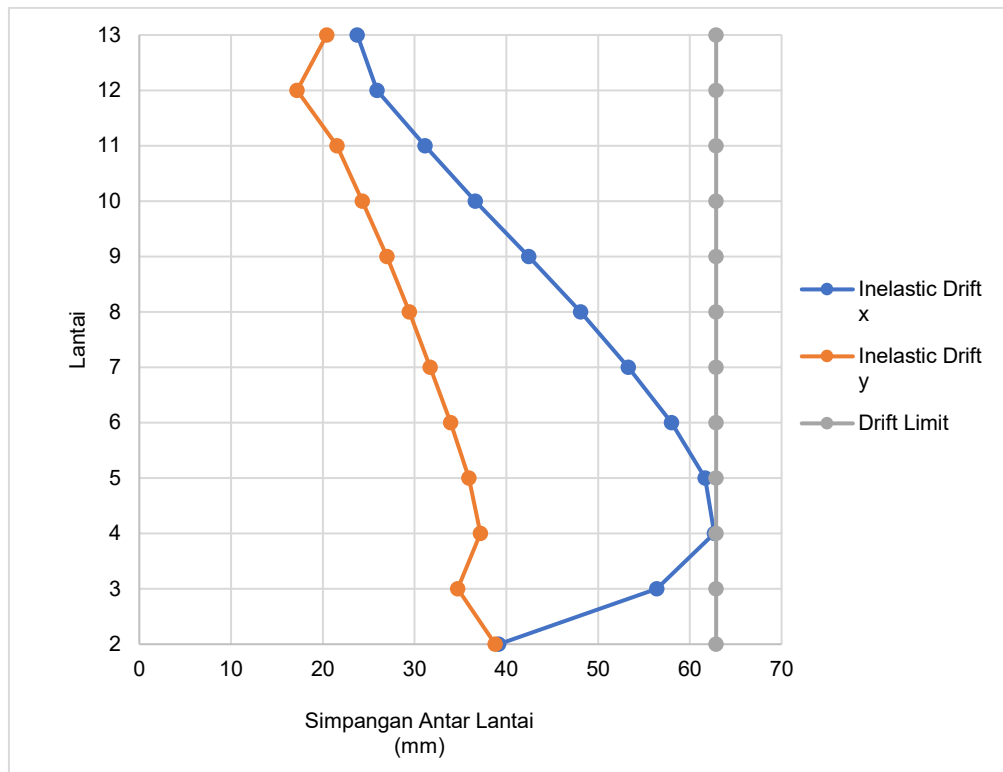
4.2.3 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

Pada SNI 1726: 2019 Pasal 7.12.1 dikatakan bahwa simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin.

Tabel 4. Kontrol Simpangan Lantai dan Batas Simpangan

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{ex}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
13	147,06	96,04	6,480	5,570	4250	23,760	20,423	62,870	OK
12	140,58	90,47	7,070	4,690	4250	25,923	17,197	62,870	OK
11	133,51	85,78	8,490	5,880	4250	31,130	21,560	62,870	OK
10	125,02	79,90	9,990	6,630	4250	36,630	24,310	62,870	OK
9	115,03	73,27	11,580	7,360	4250	42,460	26,987	62,870	OK
8	103,45	65,91	13,120	8,030	4250	48,107	29,443	62,870	OK
7	90,33	57,88	14,540	8,650	4250	53,313	31,717	62,870	OK
6	75,79	49,23	15,820	9,250	4250	58,007	33,917	62,870	OK
5	59,97	39,98	16,820	9,800	4250	61,673	35,933	62,870	OK
4	43,15	30,18	17,090	10,140	4250	62,663	37,180	62,870	OK
3	26,06	20,04	15,380	9,460	4250	56,393	34,687	62,870	OK
2	10,68	10,58	10,680	10,580	4250	39,160	38,793	62,870	OK

Dari rangkuman tabel di atas maka dapat diperoleh grafik simpangan antar lantai.



Gambar 4. Grafik Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

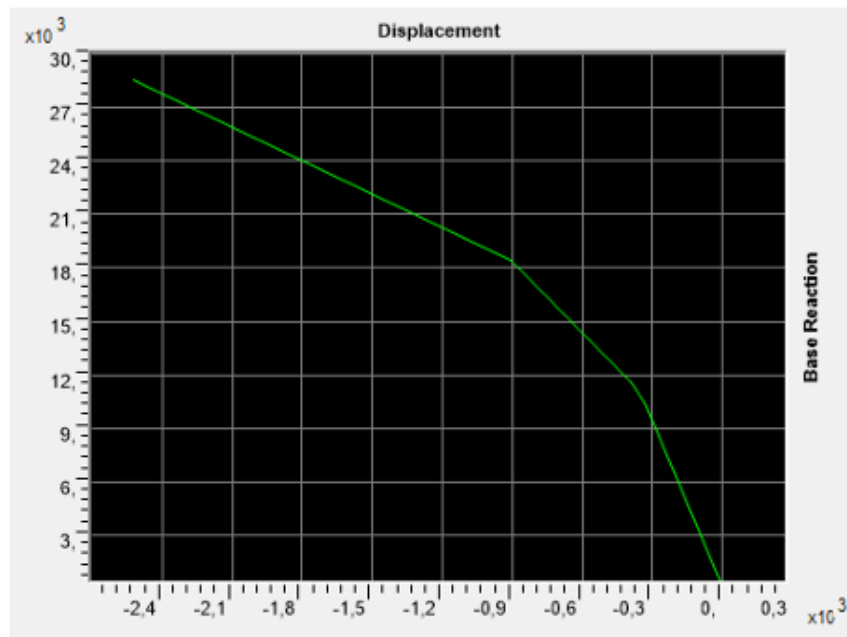
4.3. Analisa Pushover

4.3.1 Kurva Kapasitas

Berikut ini adalah gambaran hubungan antara gaya geser dasar (base shear) yang di akibatkan oleh gaya gempa dan simpangan (displacement) yang terjadi pada struktur, serta peningkatan beban gempa secara berangsur-angsur hingga struktur mengalami keruntuhan.

Tabel 5. *Displacement dan Base Force Push X*

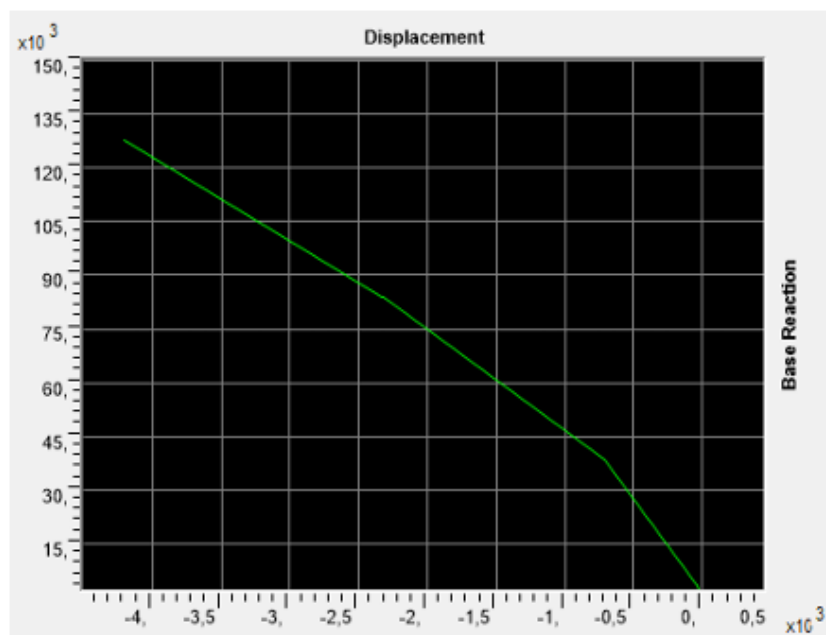
Step	Displacement mm	BaseForce kN
0	0	0
1	-8,855	371,678
2	-331,027	10430,714
3	-390,431	11577,183
4	-390,432	11577,189
5	-390,639	11585,488
6	-908,139	18389,898
7	-2525,528	28566,592



Gambar 5. Curve Capacity Push X

Tabel 6. Displacement dan Base Force Push Y

Step	Displacement	BaseForce
Unitless	mm	KN
0	0	0
1	-44,336489	3385,93
2	-707,272774	38687,973
3	-2324,25114	83779,752
4	-2332,33707	83761,181
5	-4208,2532	128041,739

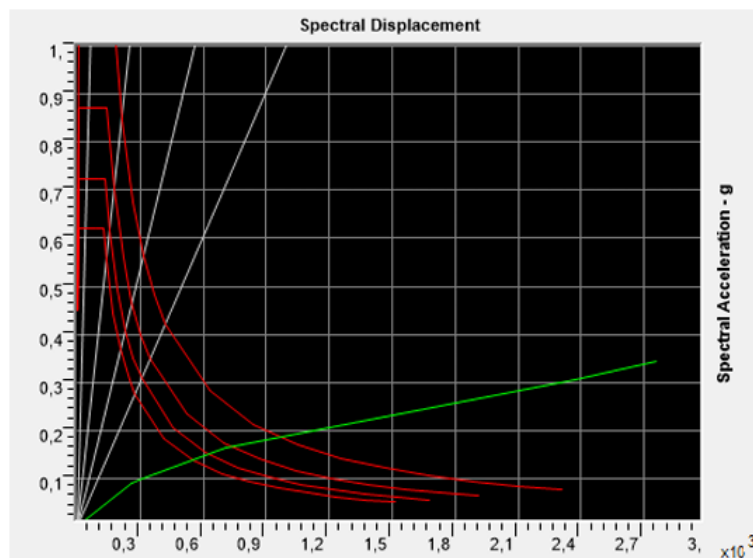


Gambar 6. Curve Capacity Push Y

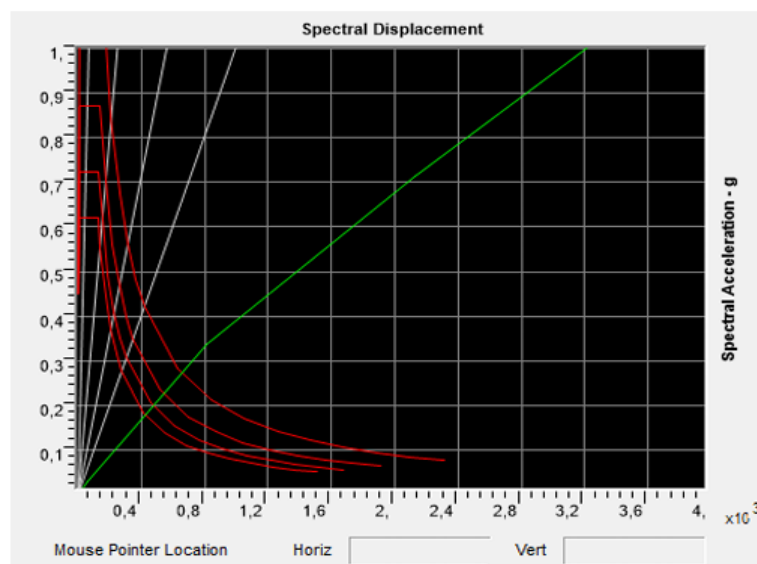
- Push X :
 Gaya lateral maksimum = 28566,592 kN pada step-7
 Displacement = 2525,528 mm
- Push Y :
 Gaya lateral maksimum = 128041,739 kN pada step-5
 Displacement = 4208,2532 mm

4.3.2 Kurva Pushover

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan simpangan (*displacement*) yang terjadi pada struktur. Kurva inipun menunjukkan hasil kurva analisis *pushover* yang berpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* yang akan menghasilkan titik kinerja struktur.



Gambar 7. Pushover Curve Plot Type ATC-40 Push X



Gambar 8. Pushover Curve Plot Type ATC-40 Push Y

Keterangan :

- : *Capacity Curve* (Kurva kapasitas)
- : *Demand Spectra* (Kurva respons spektrum)

4.4 Evaluasi Kinerja Sesuai Pedoman ATC-40

Data tabel nilai *pushover curve demand capacity ATC-40* adalah sebagai berikut.

Tabel 7. *Performance Point*

	V (kN)	D (mm)	Sa	Sd	Teff	Beff
Push X	17592,446	847,49	0,157	660,965	4,09	0,127
Push Y	29349,096	531,898	0,257	612,176	3,007	0,056

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa batasan ratio drift atap yang dievaluasi pada performance point adalah maximum total drift dan maximum inelastic drift. Dengan Perhitungan sebagai berikut :

- *Maximum Total Drift* (Simpangan Total Maksimum)

$$\text{Arah x} = \frac{847,49}{51750} = 0,016$$

$$\text{Arah y} = \frac{531,898}{51750} = 0,012$$

- *Maximum Inelastic Drift* (Simpangan Inelastis Maksimum)

$$\text{Arah x} = \frac{847,49 - 8,855}{51750} = 0,0162$$

$$\text{Arah y} = \frac{531,898 - 44,336489}{51750} = 0,0094$$

Berdasarkan *ratio drift* menurut *ATC-40*, maka hasil perhitungan diatas menunjukkan struktur termasuk dalam level kinerja kategori *Damage Control*, SP-2 yaitu transisi antara Immediate Occupancy (IO) SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3. Yang berarti dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa sangat kecil.

5 Kesimpulan

Setelah mengevaluasi gedung dengan analisis *pushover* maka diperoleh hasil analisis yang dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk kontrol struktur yaitu simpangan antar tingkat (*Inelastic drift*) tidak melebihi batas simpangan antar tingkat izin (*Drift limit*), sehingga simpangan struktur memenuhi syarat sesuai dengan SNI 1726-2019.
2. Nilai *performance point* pada Gedung Fakultas Hukum 12 Lantai UNSRAT pada arah x dengan nilai simpangan (*displacement*), yaitu sebesar 847,49 mm dan gaya geser dasar (*base shear*) sebesar 17592,446 kN. Sedangkan untuk arah y dengan nilai simpangan (*displacement*) yaitu sebesar 531,898 mm dan gaya geser dasar (*base shear*) sebesar 29349,096 kN. Nilai hasil hubungan antara *displacement* dan *base shear* ini menunjukkan bahwa, struktur masih mampu mempertahankan kekakuan saat terjadinya gempa (aman).
3. Nilai Simpangan Total Maksimum = 0,016 mm pada arah x dan 0,012 mm pada arah y. Sedangkan untuk Simpangan Inelastis Maksimum yaitu pada arah x = 0,0162 mm dan pada arah y = 0,0094 mm, yang menandakan struktur termasuk pada level kinerja *Damage control* sesuai pada acuan level kinerja *ATC-40*.
4. Berdasarkan hasil *ratio drift performance level* Gedung Fakultas Hukum 12 Lantai UNSRAT, yang tergolong pada level kinerja *Damage control* yaitu menunjukkan kondisi dimana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan tidak ada kerusakan yang cukup signifikan yang terjadi pada struktur. Ini berarti struktur tersebut dapat dioperasikan kembali. bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.

6 Saran

1. Perlunya pemahaman parameter-parameter yang terdapat pada *SAP2000* serta referensi yang valid mengenai analisis statik non-linier *pushover* dengan menggunakan program *SAP2000*

- agar dihasilkan output yang sesuai.
2. Perlunya data-data struktur secara mendetail, sehingga hasil analisis dapat sesuai dengan keadaan sebenarnya.
 3. Perlunya spesifikasi laptop dengan performa yang baik, agar dapat lebih mempermudah dalam proses analisis dan running.

Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: BSN.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). *ANALISIS PUSHOVER PADA BANGUNAN DENGAN SOFT FIRST STORY*. *Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.4, April 2014 (214-224) ISSN: 2337-6732*, 214-224.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait*. Jakarta.
- Craig D. Comartin, R. W. (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California: APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL.
- Dewi, D. I., & Masagala, A. A. (2020). *EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS SESUAI PEDOMAN ATC-40*. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 2020 - ejournal.unib.ac.id, 1-11.
- Ihsan, M. (2008, Desember 31). *Analisa Ketahanan Gempa*. Retrieved from UNIVERSITAS INDONESIA ANALISA KETAHANAN GEMPA PADA STRUKTUR RUMAH TRADISIONAL SUMATRA SKRIPSI: <https://123dok.com/document/yr9477q-universitas-indonesia-analisa-ketahanan-struktur-tradisional-sumatra-skrripsi.html>
- Jessen G. Potalangi, H. M. (2020). *Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa*. 1-12.
- Kabul Budi Asmara, M. I. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover*. 177-188.
- Kabul Budi Asmara, M. I. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus: The Venetian Tower)*. 177-188.
- BAWINTO, G. E. (2024). *EVALUASI KINERJA GEDUNG PENDIDIKAN FAKULTAS HUKUM 6 LANTAI DENGAN METODE ANALISIS PUSHOVER*.
- Reza Dwipa Sandhi, A. W. (n.d.). *Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung Fakultas Ilmu Sosial Dan Politik (Fisip) Universitas Brawijaya*.
- Saputra, M. R. (2020). *Evaluasi Kinerja Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Akibat Beban Gempa*. 679-686.
- SRIWAHYUNINGSIH, Y. (2019, Oktober). *ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN METODE BEBAN DORONG (PUSHOVER) (STUDI KASUS : HOTEL SANTIKA BANYUWANGI)*. 87 Retrieved from Repository Universitas Jember: <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/93427>
- Subur Siswanto, P. (2023). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode Pushover*. 46-52.
- Wantalantie, R. O. (2016). *Analisa Statik Dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan Sni 1726-2012 Dengan Variasi Jumlah Tingkat*. 471-480.