

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN
MENGUNAKAN METODE *STATIC NON-LINEAR*
(STUDI KASUS : GEDUNG DPRD KABUPATEN MALUKU TENGAH)**

Krisselto Prilians Pattiwael¹⁾, Pieter Lourens Frans²⁾, Vector R. R. Hutubessy³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon

¹⁾pattiwaelkrisselto@gmail.com, ²⁾pflourens@gmail.com, ³⁾vectorreinhard@gmail.com

ABSTRACT

Central Maluku Regency is an area prone to earthquakes because it is included in one of the 5th earthquake zone areas in Indonesia, so it is very necessary to analyze the performance of structures against earthquakes. The purpose of this research is to produce the displacement value between floors in the upper structure of the Central Maluku Regency DPRD Building and obtain the performance of the upper structure of the Central Maluku Regency DPRD Building with non-linear static analysis with the help of the SAP2000 v.22 program. This research shows several conclusions. The displacement value between plants due to the largest X-direction earthquake load is 21.19 mm, and the largest Y-direction displacement is 20.73 mm. Evaluation of structural performance The results of the X-direction review capacity curve show that the building is included in the IO condition, while the Y-direction review provides an overview of the behavior of the structure experiencing elastic, in-elastic conditions and then experiencing collapse shown by the curve with a decrease. In the Y direction, the building is included in the IO condition. The design concept of a strong column weak beam is fulfilled, this is because, in the structural elements of the building, the beam experiences plastic conditions earlier than the column.

ABSTRAK

Kabupaten Maluku Tengah merupakan wilayah yang rawan mengalami gempa bumi ini dikarenakan masuk dalam salah satu wilayah zona gempa ke 5 di Indonesia, sehingga dirasa sangat perlu untuk dilakukan analisis kinerja struktur terhadap gempa. Tujuan Penelitian ini adalah untuk menghasilkan nilai displacement antar lantai pada struktur atas bangunan Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah dan memperoleh kinerja struktur atas bangunan Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah dengan analisis static non-linier dengan bantuan program SAP2000 v.22. Penelitian ini menunjukkan ada beberapa kesimpulan. Nilai Displacement antarlantai akibat beban gempa arah X terbesar yaitu 21.19 mm, dan arah Y perpindahan terbesar yaitu 20.73 mm. Evaluasi kinerja struktur Hasil Dari kurva kapasitas Tinjauan arah X dan arah Y menunjukkan gedung termasuk dalam kondisi IO, ini menunjukkan bahwa gedung mengalami kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa. Konsep desain strong colum weak beam terpenuhi, ini dikarenakan pada elemen struktur gedung, balok mengalami kondisi plastis lebih dahulu dari pada kolom.

Kata kunci: *Gempa, Displacement, Static-Non Linear, Kinerja*

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia merupakan negara yang rawan terjadi gempa bumi, ini menandakan perlu adanya perencanaan bangunan yang tahan akan gempa. Perancangan bangunan tahan gempa berbasis kinerja dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada. Dalam perencanaan ini, kinerja bangunan terhadap gempa dan pola keruntuhannya dapat dinyatakan secara jelas dalam bentuk kurva. Kinerja struktur bisa dianalisis menggunakan analisis statik nonlinier (pushover) dan analisis dinamik nonlinier. Analisis statik nonlinier sering digunakan karena lebih sederhana dan cukup akurat sehingga menghemat waktu.

Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah adalah suatu bangunan gedung yang terdiri dari 4 lantai dimana setiap lantai memiliki elevasi 4,5 m. Luas bangunan gedung 1.530 m² dan tata letaknya berdekatan dengan pemukiman dan Perkantoran. Dengan memperhatikan bahwa Kabupaten Maluku Tengah merupakan salah satu wilayah zona gempa ke 5 di Indonesia. Efek dari gempa berpengaruh pada displacement dan kinerja struktur pada bangunan gedung yang dapat mengakibatkan kerusakan meliputi kerusakan dari ringan sampai ekstrim pada kasus ekstrim menyebabkan bangunan mengalami keretakan, miring bahkan ambruk menimpa bangunan lain. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian untuk menganalisis Kinerja Struktur Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah menggunakan Metode Static Non-Linear ditinjau dari Displacement dan drift.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Kinerja Struktur menggunakan Metode Static Non-Linier/Pushover Analysis

Kinerja struktur merupakan tingkatan performa suatu struktur terhadap beban gempa. Kinerja struktur suatu bangunan dapat ditentukan oleh kerusakan yang terjadi akibat dampak gempa yang ditentukan oleh maksimum perpindahan (displacement) struktur dan elemen struktur yang dapat diterima dengan besaran gempa yang ditinjau.

2.2 Perencanaan Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 1.2.1 Beban adalah gaya atau aksi lainnya akibat berat seluruh bahan bangunan, penghuni dan barang-barang yang dimilikinya, efek lingkungan, perbedaan pergerakan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi.

1. Beban mati (dead load)

Beban mati merupakan semua berat sendiri gedung dan segala unsur tambahan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Sesuai SNI 1727 2020 Pasal 3.1.1 mendefenisikan beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural

lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

2. Beban hidup (live load)

Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 4.3.1 Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam SNI 1727-2020 Tabel 4.3-1.

Tabel 1. Beban Hidup

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Atap Atap datar, berbung, dan lengkung Atap digunakan untuk tempat berkumpul Atap yang digunakan untuk tujuan	20 (0,96) 100 (4,79) Sama seperti hunian dilayani	
Gedung Perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan beban hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor diatas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2 000 (8,90) 2 000 (8,90) 2 000 (8,90)
Tangga & jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)

Sumber : SNI 1727–2020, Tabel 4.3-1, Halaman 26 s/d 29

3. Beban gempa (earthquake load)

Beban gempa dapat dilakukan dengan 3 prosedur, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam, dan prosedur riwayat respons seismik. Berikut merupakan ketentuan umum beban gempa :

- Menentukan kategori risiko struktur bangunan
- Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e)
- Menentukan jenis tanah setempat
- Menentukan parameter percepatan gempa (S_s, S_1)
- Menentukan koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang diperhitungkan risiko-target (MCEr).
- Menentukan parameter percepatan spektral desain (S_{DS}, S_{D1})
- Menentukan spektrum respons desain
- Menentukan kategori desain seismik (A-D)
- Pemilihan sistem struktur dan parameter sistem (R, C_d, Ω_0)
- Batasan perioda fundamental struktur (T)

2.3 Gempa statik ekuivalen (EQ)

Analisis statik ekuivalen merupakan penyederhanaan dari perhitungan beban gempa sebenarnya. Beban gempa yang sesungguhnya berasal dari gerakan atau percepatan tanah dasar bangunan, yang kemudian menjalar pada elemen-elemen gedung seperti kolom dan balok. Dalam metode statik ekuivalen, tanah dasar dianggap tetap (tidak bergetar) dan beban gempa diekuivalensikan menjadi beban lateral statik yang disebarkan pada elemen-elemen gedung (misalnya pada kolom atau lantai).

2.4 Gempa dinamik respons spektrum (RSP)

Desain gempa dinamik respons spektrum disusun berdasarkan respons terhadap percepatan tanah (*ground acceleration*) hasil rekaman gempa. Spektrum desain (*design spectrum*) merupakan representasi gerakan tanah (*ground motion*) akibat getaran gempa yang pernah terjadi untuk suatu lokasi. Beberapa faktor pertimbangan untuk pemilihan *design spectrum* adalah besar skala gempa, jarak lokasi ke pusat gempa, mekanisme sesar, jalur rambatan gelombang gempa, dan kondisi tanah lokal.

2.5 Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Konsep perencanaan tahan gempa berbasis kinerja yang dikenal dengan *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE) merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan. Konsep PBEE dapat digunakan untuk mendesain bangunan baru (*Performance Based Seismic Design*) maupun evaluasi bangunan yang sudah ada (*Performance Based Seismic Evaluation*).

2.6 Evaluasi Kinerja Struktur dengan Analisa Pushover

Menurut SNI 03-1726-2002, analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik adalah suatu cara analisa statik dua dimensi atau tiga dimensi linier dan non-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

1. Kurva Kapasitas

Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan lantai teratas (*roof displacement*). Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan kurva kapasitas struktur.

2. Target perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik

kontrol yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana. Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan, δ_t .

3. Metode koefisien perpindahan (FEMA356)

Metode ini dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linear dari sistem SDOF ekuivalen. Jika diplot-kan pada spektrum respons elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak, S_a , versus waktu getar, T . Redaman yang digunakan selalu 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai respons pada daerah elastis.

4. Sendi plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok dan kolom pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam.

2.7 Program SAP2000

Perhitungan struktur yang kompleks dan rumit perlu adanya alat bantu perhitungan guna mempermudah pengerjaan dan memperkecil resiko kesalahan. Alat bantu yang dimaksud adalah program komputer dengan kemampuan dan fasilitas yang mampu mengerjakan perhitungan dengan cepat dan tepat. Berapa pun jumlah bentangan atau jumlah lantai akan dapat ditangani dengan mudah dengan proses perhitungan lewat komputer.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Namaelo, Kec. kota Masohi, Kab. Maluku Tengah, Maluku. Dan penelitian ini dilakukan pada bulan September 2022



Gambar 1 Peta Lokasi penelitian Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah, Kecamatan Kota Masohi.

(Sumber : Google Earth Pro)

3.2 Jenis Data

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian mengenai Analisis *Displacement* Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah, dapat dirincikan sebagai berikut :

1. Data Primer

Data primer yang akan melengkapi data penelitian ini yaitu dilakukan dengan metode pengamatan dilapangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan suatu data yang didapatkan dari perusahaan , kemudian data tersebut dikumpulkan untuk diolah kembali ke dalam penelitian ini. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini dapat dirincikan sebagai berikut : - Gambar struktur proyek.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang akan di kumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Pengumpulan data dan informasi tentang struktur gedung yang dijadikan objek pada penelitian ini dilakukan melalui observasi dan wawancara. Data primer berupa denah bangunan sedangkan data sekunder yaitu gambar struktur Gedung yang didapat dari PT. Beringin Dua dan parameter gempa yang akan digunakan peneliti.

3.3 Sumber Data

Sumber data yang dipakai pada penulisan laporan ini adalah :

1. Data primer

Adapun dalam penelitian ini sumber data primer adalah kontraktor pelaksana proyek pembangunan Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah .

2. Data sekunder

Sumber data sekunder adalah data yang digunakan untuk mendukung data primer yaitu melalui studi kepustakaan, dokumentasi, buku, majalah, koran, arsip tertulis yang berhubungan dengan obyek yang akan diteliti pada penelitian ini. Sumber sekunder merupakan sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau dokumen.

3.4 Metode Analisis

Metode penelitian ini menggunakan analisis *static non-linier* dengan menggunakan program SAP 2000 v.22. Langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari yang berkaitan dengan tugas akhir ini seperti tinjauan pustaka atau referensi jurnal dan peraturan yang digunakan dalam perencanaan. Adapun peraturan-peraturan yang digunakan dalam perencanaan yaitu:

- Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726-2019).
- Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung menurut (SNI 2847-2019).
- Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2020).

- Federal Emergency Management Agency* (FEMA – 356).
- Tesis, Tugas akhir dan jurnal-jurnal

2. Pengumpulan data struktur gedung

Pengumpulan data struktur atas bangunan DPRD Kabupaten Maluku Tengah, didapatkan dari *Shop Drawing* struktur atas bangunan DPRD Kabupaten Maluku Tengah kemudian data ini digunakan untuk tahapan pemodelan struktur gedung 3D pada program SAP2000 v22.

3. Pemodelan struktur gedung

Pemodelan struktur gedung dibuat pada program SAP2000v22 dalam bentuk 3D dan untuk hasil dan pembahasan akan ditampilkan beberapa tipikal untuk mempermudah memahami pemodelan.

4. Analisis pembebanan struktur gedung

Beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati (*Dead Load*), beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban gempa (*Earthquake Load*).

a. Beban mati (*dead load*)

- Beban mati struktur/sendiri

Berdasarkan pada pemodelan yang ada dimana beban mati atau berat sendiri gedung telah dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 dan dimasukkan dalam *load case DEAD* adalah 1.

- Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan yaitu beban yang ditambah pada berat sendiri struktur.Sedangkan, untuk beban mati tambahan bebannya perlu dimasukkan secara manual dengan data yang ada dan dalam *load case SUPER DEAD* adalah 0.

b. Beban hidup (*live load*)

Besarnya beban hidup lantai bangunan tergantung dari fungsi bangunan atau ruang yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1. Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP 2000 dinotasikan dalam *live*. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP 2000 yang untuk *LIVE* adalah 0, di mana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

c. Beban gempa (*earthquake load*)

Pada perencanaan gedung ini, analisis beban gempa dilakukan dengan cara statik ekuivalen dan respons spektrum. Perhitungan analisis struktur gedung terhadap beban gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019). Analisis dimulai dengan data gempa kemudian analisis gempa statik ekuivalen dan respons spektrum.

d. Kombinasi pembebanan

Tujuan Kombinasi pembebanan agar kita dapat mengetahui keamanan struktur dengan mengontrol struktur.

e. Kontrol struktur gedung

Kontrol struktur gedung dimaksud agar supaya struktur gedung tetap dalam kondisi aman terhadap pengaruh beban gempa. Kontrol struktur gedung diantaranya gaya geser dasar (V), partisipasi massa, periode fundamental (T), dan simpangan antar struktur.

3.5 Pushover

1. Penentuan sendi plastis

Pemasukan data sendi plastis pada model struktur bangunan sesuai dengan penentuan tempat terjadinya sendi plastis. Sendi plastis diharapkan terjadi pada balok utama dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 ($M3$), sedangkan pada kolom dikenakan beban gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 ($PM2M3$).

2. Penentuan pembebanan

Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi yang diberi nama *GRAV* dan pembebanan lateral yang diberi nama *PUSH*.

Untuk beban lateral pola pembebanan yang diberikan secara berangsur-angsur adalah sesuai dengan mode pertama struktur. Keadaan awal untuk kondisi pembebanan ini diambil dari kondisi *pushover* sebelumnya yaitu *pushover case GRAV*.

3. Input parameter FEMA 356

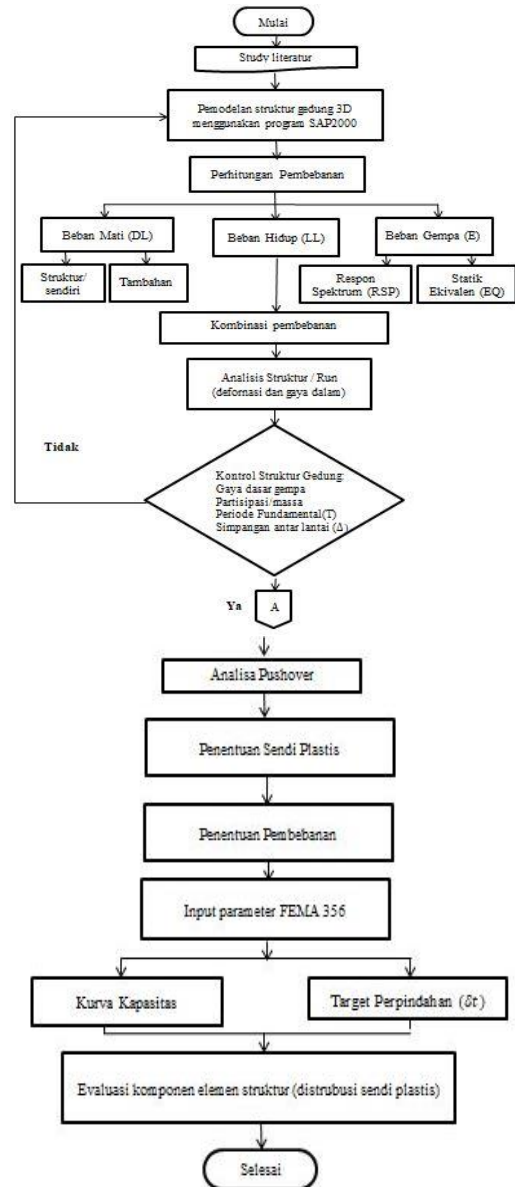
Input parameter FEMA 356 ada data yang didapatkan dari Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2019) ataupun PUSKIM.

4. Pembahasan hasil analisis pushover

Pada program SAP2000 hasil analisis didapat kurva kapasitas, target perpindahan dan sendi plastis yang dianalisis secara otomatis. Berdasarkan hasil analisis (kurva kapasitas dan target perpindahan), maka dibuat evaluasi komponen elemen struktur (distribusi sendi plastis), untuk diambil kesimpulan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Secara skematis metodologi penelitian disajikan secara visual dalam bentuk diagram alir penelitian sebagai berikut .



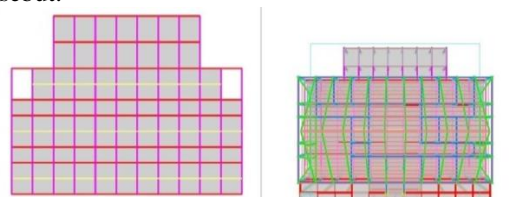
Gambar 2. Diagram Alir Analisis Struktur Gedung

Sumber: Penulis, 2023

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

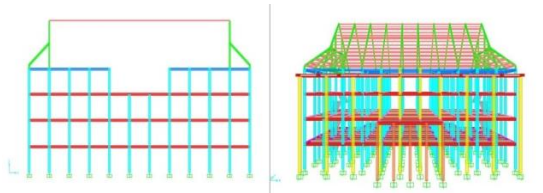
4.1 Pemodelan Struktur Gedung

Pemodelan gedung 3D pada program SAP2000 dibuat setelah data-data gedung telah lengkap, karena pemodelan gedung yang dibuat berdasarkan data-data tersebut.



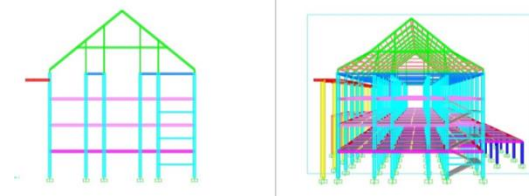
Gambar 3. Gedung Arah XY Dan 3D

Sumber: Penulis, 2023



Gambar 4. Gedung Arah XZ Dan 3D

Sumber: Penulis, 2023



Gambar 5. Gedung Arah YZ Dan 3D

Sumber: Penulis, 2023

4.2 Analisis beban gempa statik ekuivalen (EQ)

Analisis beban gempa statik ekuivalen (EQ) pada penelitian ini menggunakan alat bantu program SAP2000 dengan pola beban seismik ASCE 7-16. Untuk beban gravitasi diinput pada setiap elemen bangunan. Selanjutnya hasil beban gravitasi yang direkap diinput pada pemodelan 3D pada program SAP2000 yang akan di bahas pada analisa beban gempa statik ekuivalen (EQ).

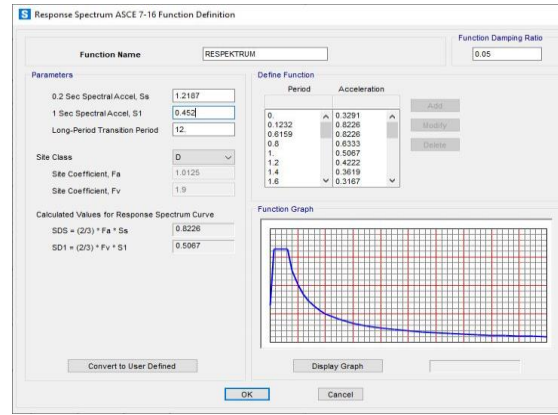
Tabel 2. Rekapitulasi Beban Gravitasi

No	Label	Beban Mati Tambahan	Beban Berat Sendiri Struktur	Beban Hidup
1	Balok	11,25 kN/m 1,71 kN/m	Otomatis program	-
2	Atap	0,272 kN/m ²		0,96 kN/m ²
3	Tangga	1,718 kN/m ²		4,79 kN/m ²
4	Pelat lantai 1 - 3	2,14 kN/m ²		2,4 kN/m ²

Sumber: Penulis, 2023

4.3 Analisis beban gempa respons spektrum (RS)

Kurva respons spektrum yang didapatkan dari rekaman gempa diinput pada program SAP2000



Gambar 6. Kurva respon spektrum

Sumber: Penulis, 2023

Setelah kurva respons spektrum dibuat, selanjutnya memuat data kasus (respons spektrum) dengan data-data sebagai berikut :

1. Redaman struktur beton (*damping*) = 0,05
2. Modal combination menggunakan SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*), karena selisih perioda fundamental struktur (ΔT) lebih besar dari 15%, yang diolah berdasarkan teori pada BAB II, sebagai berikut ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Selisih Perioda Fundamental (ΔT)

Mode	Perioda (T)	ΔT (%)
1	0.921	15.263
1	0.945	16.598
2	0.788	13.055
3	0.686	51.041
4	0.336	13.112
5	0.292	6.255
6	0.273	3.332
7	0.264	2.420
8	0.258	3.144
9	0.250	13.201
10	0.217	1.008

Sumber: Penulis, 2023

3. Scale factor

Scale factor yang dibuat berdasarkan teori pada BAB II dengan data-data didapatkan hasil yang direkap sebagai berikut.

Tabel 4. Scale Factor Respons Spektrum

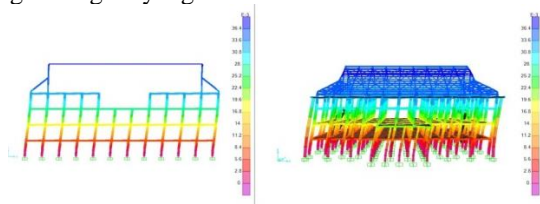
Label	U1	U2
DX	1,266	0,368
DY	0,368	1,226

Sumber: Penulis, 2023

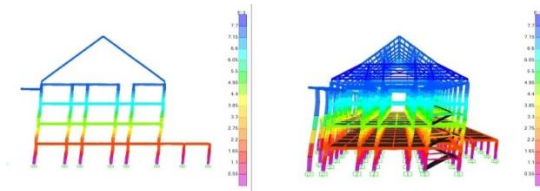
4. Kontrol simpangan antar lantai gedung (Δ)

Kontrol simpangan gedung dilakukan dengan dua arah yaitu arah XZ dan YZ, dimana arah XZ disebabkan oleh beban gempa (SX), sedangkan arah YZ disebabkan oleh pembebanan gempa aray y (SY) . Simpangan gedung diambil pada bagian yang

memiliki simpangan yang lebih besar dari pada bagian-bagian yang lain.



Gambar 7. Simpangan Gedung Akibat SX Arah XZ Pada Tingkat Teratas
Sumber: Penulis, 2023



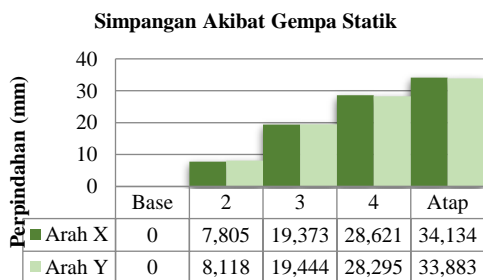
Gambar 8. Simpangan Gedung Akibat DY Arah YZ Pada Tingkat Teratas
Sumber: Penulis, 2023

Simpangan gedung untuk tingkat teratas s/d base dicek sama dengan lantai atap, selanjutnya hasil dan pembahasan direkap pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5. Simpangan Gedung Akibat Gempa SX Dan SY, Arah XZ, YZ

Lantai	Height	Perpindahan		story drift		Drift Limit	Cek	
		δx	δy	Δx	Δy			Δa
		(m)	(m)	(m)	(m)			(m)
Atap	4500	34.1	33.9	30.3	30.7	69.2	OK	
4	4500	28.6	28.3	50.9	48.7	69.2	OK	
3	4500	19.4	19.4	63.6	62.3	69.2	OK	
2	4500	7.8	8.1	42.9	44.6	69.2	OK	
Base	0	0	0	0	0	0	OK	

Sumber: Penulis, 2023



Gambar 9. Diagram Simpangan Gedung Akibat Gempa Statik Arah X Dan Arah Y
Sumber: Penulis, 2023

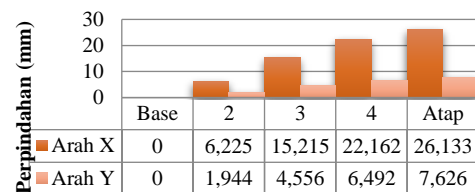
Perpindahan antar lantai beban static ekuivalen memperlihatkan perpindahan terbesar terjadi pada lantai atap arah x dengan perpindahan yang terjadi yaitu 34,134 mm. Perpindahan tersebut masih dikatakan aman dikarenakan perpindahan yang terjadi tidak melewati perpindahan batas izin (Drift Limit).

Tabel 6. Simpangan Gedung Akibat Gempa DX Dan DY Arah XZ, YZ

Lantai	Height	Perpindahan		story drift		Drift Limit	Cek	
		Δx	Δy	Δx	Δy			Δa
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			(mm)
Atap	4500	26.1	7.6	21.8	6.2	69.2	OK	
4	4500	22.2	6.5	38.2	10.6	69.2	OK	
3	4500	15.2	4.6	49.4	14.4	69.2	OK	
2	4500	6.2	1.9	34.2	10.7	69.2	OK	
Base	0	0	0	0	0	0	OK	

Sumber: Penulis, 2023

Simpangan Akibat Gempa Dinamik



Gambar 10. Diagram Simpangan Gedung Akibat Gempa Dinamik Arah X Dan Arah Y
Sumber: Penulis, 2023

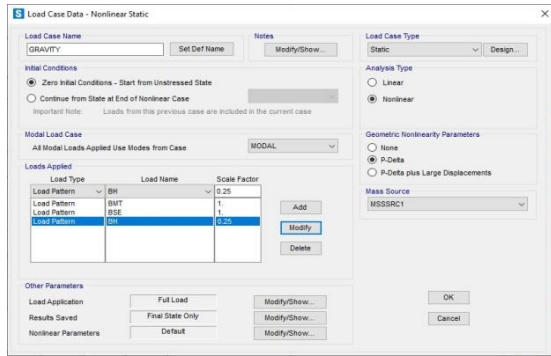
Perpindahan antar lantai akibat beban dinamik repon spektrum memperlihatkan perpindahan terbesar terjadi pada lantai atap arah x dengan perpindahan yang terjadi yaitu 26,133 mm. Perpindahan tersebut masih dikatakan aman dikarenakan perpindahan yang terjadi tidak melewati perpindahan batas izin (Drift Limit).

4.4 Analisis Pushover

1. Analisis pembebanan

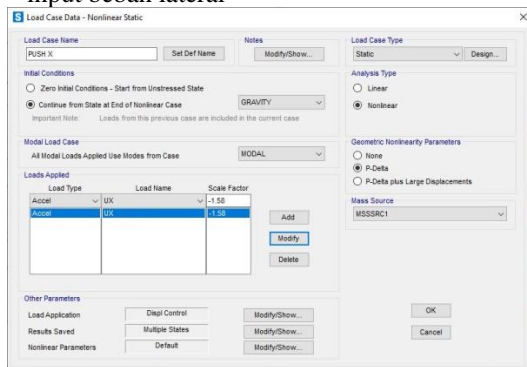
Analisis *pushover* dilakukan dalam dua tahap pembebanan, yaitu :

- a. Tahap pertama, struktur gedung dibebani oleh beban gravitasi, yaitu kombinasi beban mati dengan koefisien pembebanan 1,0 dan beban hidup tidak diperhitungkan dikarenakan beban hidup tidak melebihi 5 kN/m² SNI 1726:2019, Pasal 8.8.1. Pada tahap ini sudah diperhitungkan kondisi nonlinier.

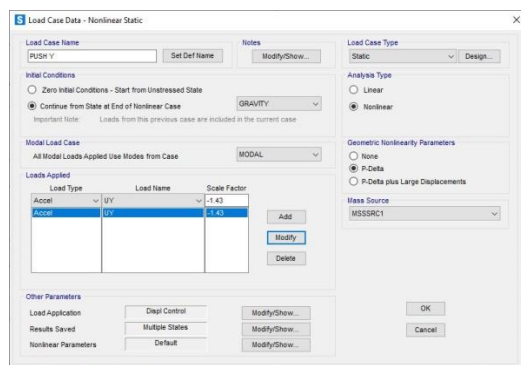


Gambar 11. Input Pembebanan Gravitasi
Sumber: Penulis, 2023

- b. Tahap kedua, analisis selanjutnya dengan memberikan pola beban lateral pada struktur, dengan masing-masing arah yaitu arah X dan arah Y. Karena tahap kedua baru dilakukan setelah tahap pertama selesai, maka opsi *Continue from State at End of Nonlinier Case* diaktifkan, dengan akhir dari awal analisis GRAV sebagai permulaan dari analisis tahap kedua. Untuk lebih jelas hasil input beban lateral



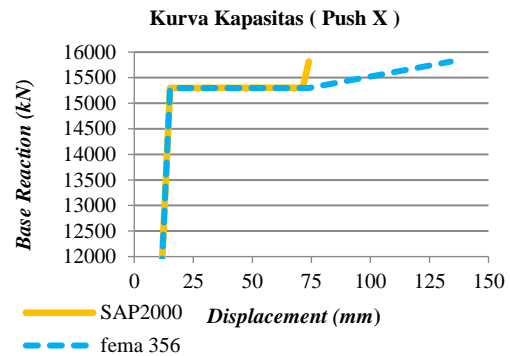
Gambar 12. Input Pembebanan Arah X
Sumber: Penulis, 2023



Gambar 13. Input Pembebanan Arah Y
Sumber: Penulis, 2023

2. Analisis target perpindahan (FEMA356)
Metode ini terdapat secara langsung pada program SAP2000, input yang diperlukan hanya parameter untuk metode koefisien FEMA356 dengan data-data yang didapat. Hasil input parameter metode koefisien FEMA356 berupa Kurva kapasitas
Kurva kapasitas (*capacity curve*) merupakan kurva hubungan antara perpindahan lateral lantai teratas/atap

(displacement) dengan gaya geser dasar (*base shear*) sebagai hasil dari *pushover*



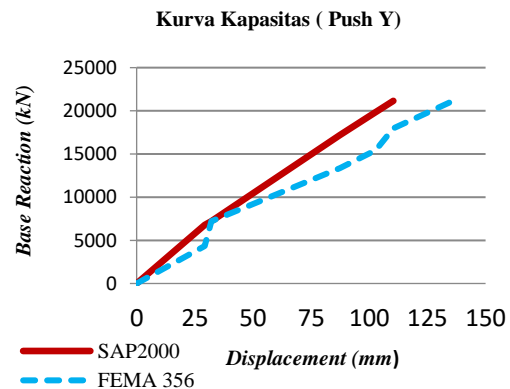
Gambar 14. Pushover Curve Demand - FEMA356 - PUSH-X
Sumber: Penulis, 2023

Tabel 7. Pushover Curve Demand - FEMA356 - PUSH-X

Step	Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0	0
1	28,5	6810.224
2	71.30	15302.63
3	72.25	15487.9
4	72.25	15487.03
5	73.93	15814.43

Sumber: Penulis, 2023

Dari kurva kapasitas yang dihasilkan untuk PUSH-X, diperoleh bahwa analisis *pushover* berhenti dilangkah (step) 2, yaitu pada saat *displacement* 73.93 mm dan gaya geser dasar sebesar 15814.43 kN.



Gambar 15. Pushover Curve Demand - FEMA356 - PUSH-Y
Sumber: Penulis, 2023

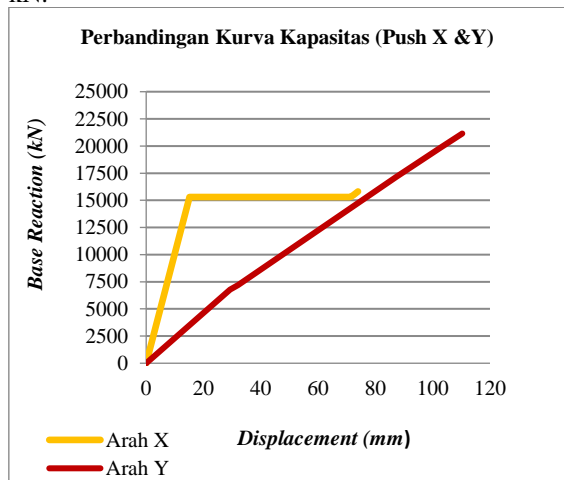
Tabel 8. Pushover Curve Demand - FEMA356 - PUSH-Y

Step	Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0	0
1	29,257	6772.346
2	87,386	17178.23
3	102,711	19842.73

4	102,711	19842.34
5	102,712	19842.39
6	102,712	19842.15
7	102,712	19842.17
8	102,712	19841.94
9	102,713	19842.21
10	102,713	19842.05
11	102,716	19842.36
12	110,34	21150.22

Sumber: Penulis, 2023

Dari kurva kapasitas yang dihasilkan untuk *PUSH-Y*, diperoleh bahwa analisis *pushover* berhenti dilangkah (*step*) 12, yaitu pada saat *displacement* tercapai yaitu 110,34 mm dan gaya geser dasar sebesar 21150,22 kN.



Gambar 16. Perbandingan Kurva Kapasitas Push Arah X Dan Y

Sumber: Penulis, 2023

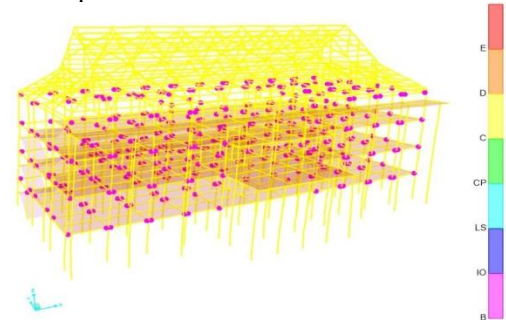
Dari Perbandingan kurva kapasitas yang dihasilkan menunjukkan bahwa gempa arah Y (*PUSH-Y*) lebih banyak menyebabkan Displacement lebih besar pada struktur gedung dibandingkan dengan gempa arah X (*Push X*).

3. Skema distribusi sendi plastis

Analisa *pushover* menunjukkan terjadinya sendi plastis pada setiap peningkatan beban. Struktur diberikan gaya gempa statik secara bertahap (*incremental*) pada proses *pushover* maka akan terbentuk sendi plastis pada elemen struktur. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur menahan gaya dalam.

Skema distribusi sendi plastis disajikan dengan gambar yang lebih banyak dan lebih tinggi tingkatan sendi plastis. Warna pada sendi plastis menunjukkan secara grafis posisi dan tingkatan kerusakan yang terjadi pada sendi plastis.

a. Sendi plastis arah X



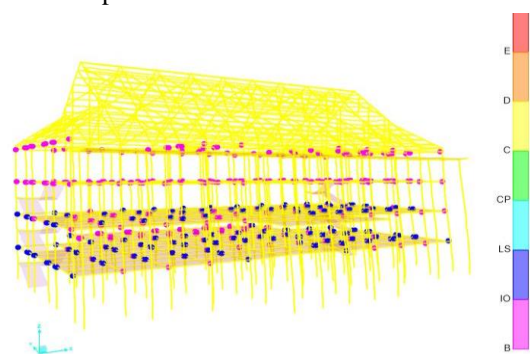
Gambar 17. Distribusi Sendi Plastis Pada Step-5 Untuk Pembebanan Arah-X

Sumber: Penulis, 2023

Distribusi sendi plastis arah XZ pada tiap tahapan peningkatan beban lateral hingga titik kinerja tercapai yang terjadi pada komponen struktur.

Terjadinya kondisi plastis pada step-1 dimana pada balok-balok bangunan ditandai dengan bulatan berwarna merah muda, kemudian pada step-3 barulah terjadi sendi plastis pada kolom dan pada step-4 beberapa balok memasuki kondisi IO ditandai dengan bulatan berwarna biru. Target perpindahan (δ_t) struktur untuk pembebanan arah-XZ gedung adalah 0.073 m sehingga evaluasi komponen struktur dilakukan dimana *displacement* yang terjadi 0.072 m < 0.134 m (δ_t). Distribusi sendi plastis yang terjadi pada step-2 memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupany* (IO). dimana bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami berusakam berarti, dan dapat difungsikan kembali kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

b. Sendi plastis arah Y



Gambar 18. Distribusi Sendi Plastis Pada Step-12 Untuk Pembebanan Arah-Y








Sumber: Penulis, 2023

Distribusi sendi plastis arah YZ pada tiap tahapan peningkatan beban lateral hingga titik kinerja tercapai yang terjadi pada komponen struktur.

Terjadinya kondisi plastis pada step-1 dimana terjadi pada balok-balok bangunan ditandai dengan bulatan berwarna merah muda, kemudian pada step-3 barulah terjadi sendi plastis pada kolom dan beberapa balok

memasuki kondisi IO ditandai dengan bulatan berwarna biru, kondisi IO pada kolom mulai terjadi pada step-10. Target perpindahan (δ_i) struktur untuk pembebanan arah-YZ gedung adalah 0,154 m, sehingga evaluasi komponen struktur yang terjadi $0.11\text{ m} < 0.136\text{ m}$ (δ_i) dan Distribusi sendi plastis yang terjadi pada step-1 s/d step-12 memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupany* (IO).

Tabel 9. Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terjadinya Gempa

Ket	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO		Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS		Terjadi kerusakan mulai dari kecil sampai tingkat sedang, Kekakuan struktur berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap nilai keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

Sumber: Penulis, 2023

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah menganalisis dan mengevaluasi, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai Displacement antarlantai akibat beban gempa arah X dan Y

- a. Arah X : Pada lantai Base yaitu sebesar 0, sedangkan untuk lantai atap mengalami perpindahan terbesar yaitu 21.19 mm, untuk lantai 1 perpindahan sebesar 4.39 mm , pada lantai 2 sebesar 11,27 mm dan pada lanti 3 perpindahan sebesar 17,19 mm
- b. Arah Y : Pada lantai Base yaitu sebesar 0, sedangkan untuk lantai atap mengalami perpindahan terbesar yaitu 20.73 mm, untuk lantai 1 perpindahan sebesar 5.09 mm , pada

lantai 2 sebesar 11.88 mm dan pada lanti 3 perpindahan sebesar 17,126 mm

2. Evaluasi kinerja struktur

- a. Perpindahan hasil *pushover* maksimum arah XZ pada step-6 kurang dari target perpindahan, dengan angka $0.072\text{ m} < 0.134\text{ m}$ (δ_i). Hasil Dari kurva kapasitas Tinjauan arah X menunjukkan gedung termasuk dalam kondisi IO dimana bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami berusakam berarti, dan dapat difungsikan kembali kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.
- b. Perpindahan hasil *pushover* maksimum arah YZ yaitu pada step-15 hampir mrncapai target perpindahan, dengan angka $0.11\text{ m} < 0.136\text{ m}$ (δ_i). Tinjauan arah Y memberikan gambaran perilaku struktur mengalami kondisi elastis, in-elastis kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukkan kurva dengan penurunan. Namun kondisi gedung termasuk dalam kondisi IO.

Konsep desain strong colum weak beam terpenuhi, ini dikarenakan pada elemen struktur gedung, balok mengalami kondisi plastis lebih dahulu dari pada kolom.

5.2. Saran

- 1. Perhitungan beban-beban pada bangunan disarankan untuk dilakukan juga secara manual agar dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan program SAP.2000
- 2. Analisis *pushover* perlu dicoba dengan referensi ATC 40 agar hasil kinerja bangunan dapat dibandingkan dengan referensi FEMA 356
- 3. Membandingkan hasil evaluasi kinerja struktur tahan gempa metode distribusi static non-linear dengan metode analisis respon riwayat waktu, khususnya pada gedung berlantai banyak.
- 4. Analisis *pushover* perlu dilakukan pada gedung-gedung tinggi lainnya untuk mengetahui perilaku seismic gedung bertingkat banyak.

DAFTAR PUSTAKA

Analisis Pushover untuk Mengetahui Perilaku Struktur saat Terkena Gempa <https://hesa.co.id/analisis-pushover-untuk-mengetahui-perilaku-struktur-saat-terkena-gempa/>, (diakses 21-05-2023)

Badan Standardisasi Nasional (2002). *SNI 03-1726-2002: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung*. Jakarta.

Desain Spektra Indonesia, <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, (diakses 21-05-2023) .

Hutama, B. P. (2021). *Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pematang dengan Non-linier Static Pushover Analysis Metode*

- ATC-40 dan FEMA 440. Inersia: Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 17(2), 118-129.
- LATIFAH, Afi Atul. "Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Menggunakan Metode Statik Nonlinier Pushover (Studi Kasus: Hotel Grand Padis Bondowoso.)"
- Siswanto, S., & Prijasambada, P. (2023). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode Pushover. IKRAITH-Teknologi*, 7(1), 46-52.
- Situmorang, D Hendro., 2022. *BMKG: Indonesia Diguncang 10.792 Kali Gempa Sepanjang 2022.* <https://www.beritasatu.com/news>, (diakses 16-01-2023)
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan SNI 2847:2019* . Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019*. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2020*. Jakarta
- Usman, A. P., & Mutmainna, S. P. (2021). *Analisis Respons dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Pushover Analysis. JURNAL SAINTIS*, 21(02), 87-96