

**EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN
ATAS DENGAN METODE *PUSHOVER* BERBASIS
ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

OLEH:

**BAIHAQI RAZIF SYAHPUTRA
218110079**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 30/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)30/3/26

**EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR BANGUNAN
ATAS DENGAN METODE *PUSHOVER* BERBASIS
ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

**BAIHAQI RAZIF SYAHPUTRA
218110079**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN


Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan Atas Dengan Metode *Pushover* Berbasis Elemen Hingga

Nama : Baihaqi Razif Syahputra

NPM : 218110079

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T
Pembimbing



Drs. Supriatno, S.T., M.T
Dekan



M. Rini Widiandari, S.T., M.T
K. Program Studi

Tanggal Lulus : 08 September 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 08 September 2025



METERAI
TEMPEL

LBBA4ANX087877905

Baihaqi Razif Syahputra
218110079

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Baihaqi Razif Syahputra
NPM : 218110079
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan Atas Dengan Metode *Pushover* Berbasis Elemen Hingga. Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 08 September 2025
Yang menyatakan


(Baihaqi Razif Syahputra)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pekanbaru Pada tanggal 23 Oktober 2002. dari Ayah Ir. Irwansyah dan Ibu Amalia Rahmatita. Penulis merupakan putra ke 2 dari 3 bersudara. Tahun 2020 Penulis lulus dari SMA Negeri 2 Medan dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2024 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Stadion Utama Sumatera Utara
Kec, Batang Kuis, Kabupaten Deli Serdang.



KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Struktur dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan Atas Dengan Metode *Pushover* Berbasis Elemen Hingga. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman-teman teknik sipil 21 yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtitik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.



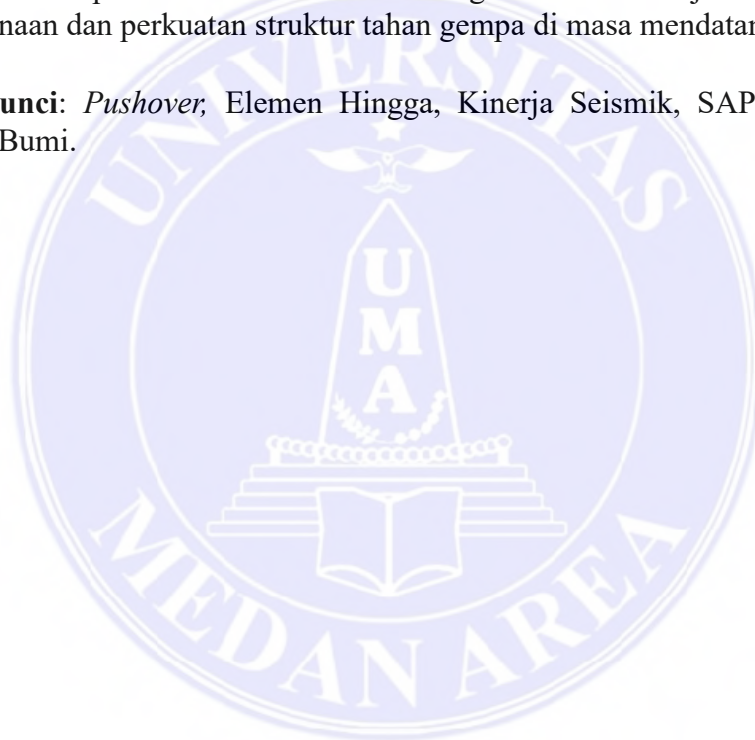
Penulis

(Baihaqi Razi Syahputra)

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat menyebabkan kerusakan parah pada struktur bangunan, terutama di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur atas gedung bertingkat Rumah Sakit Haji Medan 9 lantai terhadap beban gempa dengan menggunakan metode pushover berbasis elemen hingga. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000 versi 14, mengacu pada standar SNI 1726:2019, ATC-40, dan ASCE 41-17. Parameter utama yang dianalisis meliputi kurva kapasitas, pembentukan sendi plastis, *story drift*, *story drift ratio*, dan displacement. Hasil analisis menunjukkan tingkat kinerja struktur berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO) yang menandakan struktur masih dapat digunakan setelah terjadi gempa dengan kerusakan minimal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam memahami respons non-linier struktur bangunan serta menjadi referensi untuk perencanaan dan perkuatan struktur tahan gempa di masa mendatang.

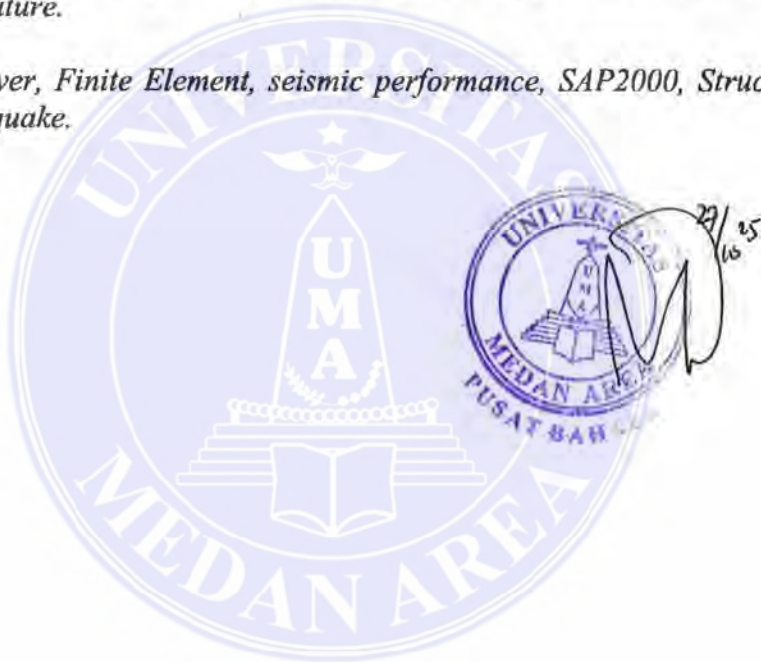
Kata kunci: *Pushover*, Elemen Hingga, Kinerja Seismik, SAP2000, Struktur, Gempa Bumi.



ABSTRACT

Earthquakes are natural disasters that can cause severe damage to building structures, especially in earthquake-prone areas such as Indonesia. This research aims to evaluate the seismic performance of the upper structure of the 9-story Haji Hospital Medan building against earthquake loads by using the pushover method based on finite elements. The analysis was conducted by using SAP2000 version 14 software, referring to SNI 1726:2019, ATC-40, and ASCE 41-17 standards. The main parameters that were analyzed included capacity curve, plastic hinge formation, story drift, story drift ratio, and displacement. The results of the analysis showed that the performance level of the structure was in the Immediate Occupancy (IO) category which indicated that the structure was still usable after an earthquake with minimal damage. This research provides a contribution in understanding the non-linear response of building structures and becomes a reference for the planning and strengthening of earthquake-resistant structures in the future.

Keywords: Pushover, Finite Element, seismic performance, SAP2000, Structure, Earthquake.



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGHANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu.....	11
2.3 Konsep Dasar Evaluasi Kinerja Seismik.....	14
2.3.1 Prinsip Dasar Analisis <i>Pushover</i>	17
2.3.2 Parameter Utama Dalam Analisis <i>Pushover</i>	19
2.3.3 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis.....	20
2.4 Perangkat Lunak SAP 2000 dalam analisis struktur	23
2.4.1 Fitur Utama Dalam Analisis <i>Pushover</i>	24
2.4.2 Keunggulan dan Keterbatasan Dibandingkan Perangkat Lunak Lain	25
2.5 Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bertingkat	26
2.5.1 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat	26
2.5.2 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Respon Seismik.....	28
2.6 Standar dan Pedoman Terkait.....	29
2.6.1 Pedoman ATC-40 Dalam Evaluasi Kapasitas Struktur	29
2.6.2 SNI 1726:2019 Tentang Perencanaan Ketahanan Gempa.....	30
2.6.3 ASCE 41-17 dan FEMA 440 Sebagai Referensi Pendukung.....	32

2.7	Kriteria Karakteristik Bangunan	33
2.7.1	Tingkat Kinerja Bangunan Berdasarkan ATC-40.....	33
2.7.2	Metode Penilaian Kinerja Berdasarkan Target <i>Displacement</i>	35
2.8	Pembebanan	36
2.8.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	36
2.8.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	37
2.8.3	Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	37
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....		38
3.1	Metode Penelitian	38
3.1.1	Pendekatan Penelitian (Kuantitatif dan Analitis).....	38
3.1.2	Jenis Data Yang Digunakan.....	39
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	39
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	40
3.4	Metode Pengumpulan Data	41
3.4.1	Data Eksisting Struktur Gedung Bertingkat.....	41
3.4.2	Proses Pemodelan Ulang Dengan SAP 2000	41
3.5	Metode Analisis Data.....	49
3.5.1	Simulasi Analisis <i>Pushover</i> Dengan SAP 2000	49
3.5.2	Evaluasi Kapasitas Elemen Struktur Berdasarkan Kurva Kapasitas..	62
3.5.3	Penilaian Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan Pedoman ATC-40 ..	63
3.6	Kerangka Berfikir.....	64
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		65
4.2	Hasil Simulasi Analisis <i>Pushover</i> Menggunakan SAP 2000	75
4.2.1	Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>).....	76
4.2.2	Perkembangan Pembentukan Sendi Plastis.....	78
4.2.3	<i>Story Displacement</i>	82
4.2.4	<i>Story Drift</i>	84
4.2.5	<i>Story Drift Ratio</i>	87
4.3	Pembahasan	
4.3.1	Evaluasi Kapasitas Struktur Berdasarkan <i>Pushover Curve</i>	89
4.3.2	Analisis Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40.....	89
4.3.3	Implikasi Hasil Penelitian Terhadap Keamanan Struktur Gedung Bertingkat.....	90
4.3.4	Rekomendasi Perbaikan dan Penguatan Struktur	92
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		94
5.1	Kesimpulan	94
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbedaan dengan peneliti terdahulu	12
Tabel 2 Tingkat Kinerja Seismik (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17.....	15
Tabel 3 Hasil Evaluasi Analisis Pushover (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17)..	18
Tabel 4 Parameter Utama dalam Analisis <i>Pushover</i> (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17).....	20
Tabel 5 Jenis dan Karakteristik Sendi Plastis (FEMA 356, ATC-40, ASCE 41-17, (SNI 1726:2019)	22
Tabel 6 Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain (FEMA P-695, 2009.....	26
Tabel 7 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat (FEMA P-1050, 2016).....	28
Tabel 8 level kinerja struktur (ATC-40)	30
Tabel 9 Klasifikasi Situs dan Koefisien Seismik (SNI 1726:2019).	31
Tabel 10. Dimensi Struktur Bangunan Penelitian.....	65
Tabel 11 Beban Mati Qdl lantai 1- 7.....	66
Tabel 12 Beban Mati Tambahan Atap	66
Tabel 13 Beban Mati Tambahan Dinding Balok	66
Tabel 14 Beban Hidup (QLL).....	67
Tabel 15 <i>Pushover Curve-Push X</i>	78
Tabel 16 <i>Pushover Curve-Push Y</i>	80
Tabel 17 Nilai <i>Displacement</i> Arah X dan Y	83
Tabel 18 Nilai <i>Story Drift</i> X dan Y.....	86
Tabel 19 Nilai <i>Story Drift Ratio</i> X dan Y	88
Tabel 20 Hasil Penentuan Kinerja Struktur	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Persamaan yang dapat diperoleh:	15
Gambar 2 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis	22
Gambar 3 Diagram Tingkat Kinerja Bangunan	35
Gambar 4 Lokasi Penelitian	40
Gambar 5 Model baru SAP	42
Gambar 6 Membuat <i>grid</i>	42
Gambar 7 Data Bahan dan Material Beton	43
Gambar 8 Data Bahan dan Material F_y Ulir	44
Gambar 9 Data Bahan dan Material F_y Polos	44
Gambar 10 Data Penampang Kolom.....	45
Gambar 11 Data Penampang Balok	47
Gambar 12 Data Penampang Pelat Lantai	47
Gambar 13 Data Penampang Pelat Atap	48
Gambar 14 Pemodelan sebelum di <i>Run</i>	48
Gambar 15 Pemodelan sesudah di <i>Run</i>	49
Gambar 16 <i>Input</i> Beban Mati Pelat Lantai	50
Gambar 17 <i>Input</i> Beban Hidup Pelat Lantai	51
Gambar 18 <i>Input</i> Beban Mati Pada Atap	51
Gambar 19 <i>Input</i> Beban Hidup Tambahan Atap	52
Gambar 20 <i>Input Diaphragm</i> setiap Lantai	53
Gambar 21 <i>Input Hinge</i> Pada Kolom	53
Gambar 22 <i>Select Section</i> Pada Kolom	54
Gambar 23 <i>Input Hinge</i> Pada Kolom	54
Gambar 24 <i>Input Hinge</i> Pada Balok	55
Gambar 25 <i>Select Section</i> Pada Balok	55
Gambar 26 <i>Input Hinge</i> Pada Balok	56
Gambar 27 <i>Define Load Paterns</i>	56
Gambar 28 <i>Input</i> Beban Lateral X	57
Gambar 29 <i>Define Load Paterns</i>	57
Gambar 30 <i>Input</i> Beban Lateral Y	58
Gambar 31 <i>Input Static</i> Nonlinier Case Gravity	58
Gambar 32 <i>Static Nonlinear Push-X</i>	59
Gambar 33 <i>Static Nonlinear Push-Y</i>	60
Gambar 34 Memilih <i>Load Case To Run</i>	61
Gambar 35 <i>Pushover Curve X</i>	61
Gambar 36 <i>Pushover Curve Y</i>	62
Gambar 37 Diagram alur penelitian	64
Gambar 38 Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>) <i>Push X</i>	77
Gambar 39 Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>) <i>Push Y</i>	78
Gambar 40 Grafik <i>Story Displacement</i> Arah X	84
Gambar 41 Grafik <i>Story Displacement</i> Arah Y	84
Gambar 42 Grafik <i>Story Drift</i> Arah X	86
Gambar 43 Grafik <i>Story Drift</i> Arah Y	86
Gambar 44 Grafik <i>Strory Drift Ratio</i> Arah X	88
Gambar 45 Grafik <i>Strory Drift Ratio</i> Arah Y	89

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2023). "Perencanaan dan desain bangunan yang baik dapat mengurangi risiko kerusakan Bangunan anti gempa yang dirancang untuk tahan gempa merupakan langkah vital dalam melindungi nyawa manusia dan aset berharga dari ancaman gempa bumi. Dalam upaya menciptakan struktur yang aman dan mampu bertahan dari gempa, pendekatan desain yang fleksibel, penguatan struktur, sistem pengendalian getaran, dan sistem pemantauan menjadi elemen penting yang harus diperhatikan untuk meningkatkan keselamatan penghuni saat terjadi gempa bumi. (Unggul, 2023).

Kota Medan, sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Utara, memiliki peran strategis sebagai pusat ekonomi dan perdagangan di kawasan Sumatera. Kota Medan menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan infrastruktur dan layanan publik, termasuk transportasi, perumahan, dan fasilitas kesehatan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), "Kota Medan merupakan kota terbesar ketiga di Indonesia setelah Jakarta dan Surabaya, dengan pertumbuhan penduduk yang mencapai 2,15% per tahun" (BPS, 2023). Pembangunan infrastruktur yang tahan gempa di Medan memiliki peranan yang sangat krusial dalam melindungi

masyarakat serta meningkatkan ketahanan kota terhadap bencana gempa. Dengan merancang infrastruktur yang kokoh dan mampu menahan guncangan, dapat meminimalkan risiko kerusakan dan mengurangi jumlah korban jiwa. Pembangunan infrastruktur yang tahan bencana: Membangun infrastruktur seperti bangunan, jalan, dan jembatan yang tahan terhadap gempa bumi, banjir, dan angin kencang. (Yunus, 2024).

Analisis *pushover* merupakan analisis statik nonlinier yang memperlakukan pengaruh Gempa Rencana pada struktur bangunan gedung sebagai beban statik yang diterapkan pada pusat massa tiap lantai. Beban ini ditingkatkan secara bertahap hingga melewati batas yang menyebabkan terbentuknya sendi plastis pertama dalam struktur. Selanjutnya, dengan penambahan beban lebih lanjut, struktur mengalami deformasi pasca-elastik yang signifikan hingga mencapai keadaan plastik (Pranata, 2006). Berdasarkan metode ini, penulis melakukan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak SAP 2000 untuk perhitungan.

Program Structural Analysis Program (SAP2000) adalah perangkat lunak canggih untuk analisis struktur bangunan. SAP2000 merupakan versi terbaru dari seri program analisis struktur SAP, yang melanjutkan SAP80 dan SAP90. Keunggulan SAP2000 terlihat dari fitur desain elemen untuk material baja dan beton (Amsori, 2007). SAP2000 juga sangat efektif dalam melakukan analisis nonlinier, termasuk metode *pushover*, yang penting untuk memahami respons struktur terhadap beban ekstrem. Menurut Rahman (2020), kemampuan SAP2000 dalam memodelkan berbagai kondisi beban dan material membuatnya menjadi salah satu *software* utama yang dipercaya dalam analisis risiko serta perancangan bangunan tahan gempa."

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana respons dan performa struktur bangunan bertingkat saat diuji dengan metode pushover berbasis elemen hingga dalam menghadapi beban gempa yang dirancang berdasarkan standar perencanaan seismik?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons dan kinerja struktur bangunan bertingkat ketika diberi beban gempa yang sesuai dengan standar perencanaan seismik menggunakan metode pushover berbasis elemen hingga. Studi ini fokus pada evaluasi kapasitas struktur, pola terbentuknya sendi plastis, serta tingkat kinerja bangunan berdasarkan kurva kapasitas, dengan tujuan memberikan saran dalam perancangan dan penguatan struktur agar lebih tahan terhadap beban gempa.

1.4. Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Evaluasi kinerja seismik dilakukan menggunakan metode *pushover* berbasis elemen hingga dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000
2. Analisis mengacu pada standar perencanaan gempa SNI 1726:2019, serta kriteria kinerja berdasarkan ASCE 41-17 dan ATC-40
3. Penilaian kinerja struktur dilakukan berdasarkan kurva kapasitas, *story drift*, *Story drift ratio*, *displacement*, dan pembentukan sendi plastis.
4. Pembebanan yang dianalisis terdiri dari beban gempa statik non-linear dengan pola distribusi lateral yang sesuai dengan regulasi perencanaan seismik.

5. Penentuan tingkat kinerja bangunan didasarkan pada nilai *story drift* maksimum untuk mengklasifikasikan kinerja struktur ke dalam kategori *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, atau *Collapse Prevention (CP)*.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman tentang perilaku seismik struktur mengenai respons non-linear struktur gedung bertingkat terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover* berbasis elemen hingga.
2. Dapat menilai sejauh mana bangunan bertingkat mampu bertahan terhadap gempa berdasarkan parameter seperti *story drift ratio*, *displacement*, dan pembentukan sendi plastis.
3. Referensi bagi perencanaan dan analisis struktur dalam mengevaluasi serta meningkatkan desain bangunan bertingkat agar lebih tahan terhadap gempa.
4. Kontribusi terhadap pengembangan metode evaluasi seismik dengan membandingkan hasil simulasi berbasis elemen hingga terhadap standar evaluasi yang berlaku (ASCE 41-17, ATC-40, dan SNI 1726:2019).
5. Menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang berfokus pada perkuatan struktur, desain inovatif untuk ketahanan gempa, atau pengembangan model analisis berbasis elemen hingga yang lebih akurat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah hasil dari penelitian terdahulu :

1. Sijabat (2023) melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Struktur Atas pada Gedung Rumah Sakit *Grand Mitra Medika Medan*, Sumatera Utara. Penelitian ini memiliki dua tujuan utama, yaitu: pertama, memodelkan pembebanan struktur gedung menggunakan analisis struktur dengan perangkat lunak SAP 2000; kedua, melakukan perhitungan struktur sesuai dengan standar perencanaan elemen struktur beton. Metode penelitian yang diterapkan meliputi pengumpulan data, estimasi desain, perhitungan pembebanan, pemodelan struktur, analisis, perhitungan tulangan, penggambaran hasil perhitungan, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban yang diperhitungkan pada struktur Rumah Sakit *Grand Mitra Medika* meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa, yang disesuaikan dengan ketentuan dalam SNI-1727-2013 dan SNI-1726-2012.
2. Muhammad Ismail (2014), dengan judul Analisa Kinerja Struktur Atas Gedung 7 Lantai Dengan Varian Dimensi Dan Lokasi *Shearwall* Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel. Tujuan dari penelitian ini 4 yaitu adalah 1) Mempelajari aspek-aspek perencanaan gedung bertingkat beton bertulang dan diterapkan dalam suatu desain konstruksi. 2) Melakukan analisis kinerja gedung yang sama tetapi dibedakan antara menggunakan *shear wall* dengan berbagai macam lokasi dan bentuk dimensi. 3)

Membandingkan gaya geser, momen dan gaya normal berbagai macam alternatif. 4) Membandingkan antara deformasi yang dihasilkan dan berbagai macam alternatif lolaki *shear wall* dari perhitungan menggunakan SRPM. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan program struktur SAP 2000 meliputi 1) Studi Literatur 2) Pemodelan struktur 3) Analisis perhitungan. Hasil/kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu 1) Dari berbagai macam momen maksimum yang terjadi pada tiap alternatif didapatkan momen maksimum terjadi antara *shearwall* pada bangunan tengah pada balok lantai 6 gedung alternatif C berupa *shear wall* plus diantara dua bangunan dengan momen maksimum sebesar 111041 kg cm. 2) Dari berbagai macam gaya geser maksimum, yang terjadi pada tiap alternatif didapatkan gaya geser maksimum terjadi diantara *shear wall* pada bangunan tengah pada balok lantai 5 gedung alternatif B berupa *shear wall* sudut pada pinggiran pojok gedung dengan gaya geser maksimum sebesar – 10000,1 kg. 3) Nilai defleksi atau simpangan bangunan semakin atas semakin besar. Jika ditinjau dari arah y di dapat defleksi maksimum pada lantai 8 gedung alternatif C berupa *shearwall* plus dengan defleksi maksimum sebesar 0,33 cm. karena semakin tinggi lantai gedung maka simpangan atau defleksi akan semakin besar. 4) Nilai defleksi atau simpangan maksimum pada arah x didapat pada lantai 8 gedung alternatif D berupa *shear wall* penuh di sepanjang pinggir gedung dengan defleksi maksimum sebesar 0,30 cm karena pada alternatif D *shear wall* tidak digunakan pada arah y sehingga mengakibatkan simpangan yang terjadi pada arah y maksimum tetapi pada arah x defleksinya maksimum, karena

besarnya dimensi shearwall yang di buat pada arah x. 5) Berdasarkan volume dengan berbagai macam alternatif yang telah dilakukan yaitu alternatif A sebesar 1993m³, alternatif B sebesar 2117 m³, alternatif C sebesar 2116 m³, dan alternatif D sebesar 2134 m³. Terdapat *volume* yang lebih kecil yaitu pada alternatif A berupa gedung existing tanpa *shear wall* sebesar 1993 m³ karena pada alternative A hanya menggunakan system rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sedangkan ketiga alternatif lainnya menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SPRMK). 6) Volume maksimum didapat pada alternatif D berupa shearwall penuh disepanjang pinggir gedung sebesar 2134 m³ karena dimensi shearwall yang digunakan lebih besar dibandingkan alternatif alternatif yang lainnya.

3. Kabul Budi Asmara (2023) melakukan penelitian berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan analisis *pushover* menggunakan aplikasi pemodelan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja bangunan tinggi dalam menahan beban lateral, khususnya beban gempa, guna menentukan ketahanan dan stabilitas struktur. Metode yang digunakan adalah analisis data kuantitatif dengan data berupa angka yang kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak. Analisis pushover yang diterapkan menggunakan metode kurva kapasitas dengan acuan pada SNI 1726 (2019), SNI 2847 (2019), dan ATC-40. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *The Venetian Tower* aman terhadap gempa dengan skala MMI VIII atau 6 SR, dengan mekanisme sendi plastis yang pertama kali terjadi pada balok, , sesuai dengan konsep *Strong Column - Weak Beam* (SCWB).

Pengecekan kapasitas balok dan kolom dipilih berdasarkan titik krusial, sehingga belum mewakili secara keseluruhan. Balok ditinjau menggunakan SNI 2847 (2019), hasilnya aman terhadap gaya geser, akan tetapi tidak aman terhadap momen lentur dan torsi. Untuk meningkatkan kapasitas lentur dan torsi, dapat dilakukan dengan menambah jumlah tulangan longitudinal dan memperbesar diameter tulangan transversal. Kemudian penampang kolom yang ditinjau, memenuhi syarat gaya, geometri, dan rasio tulangan sesuai SNI 2847 (2019).

4. Suirna Juarnisa Syahland (2021), dengan judul Analisis Pembebanan Struktur Bangunan Atas Gedung Kantor Kelurahan Kampung Baru Raya Bandar Lampung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis evaluasi gaya ultimate yang bekerja pada kolom, balok, dan plat lantai kemudian mendesain keperluan tulangannya dengan dimensi kolom, balok dan plat sesuai dengan ukuran yang ada pada gambar kerja, dan membandingkan kapasitas daya dukung komponen tersebut apakah sudah sesuai dengankapasitas yang direncanakan atau belum. Metode yang digunakan yaitu metode SRPMK adalah suatu rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya dapat menahan gaya – gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah resiko gempa tinggi. Dan menghitung dibantu dengan aplikasi SAP2000 versi 14, agar perhitungan lebih mudah dan cepat. Metode penelitian yang digunakan 1) Pengamatan visual langsung di lokasi bangunan 2) Pengumpulan data skunder berupa gambar kerja 3) Pengukuran geometri struktur bangunan menggunakan alat meteran 4) Menganalisis struktur menggunakan program

SAP 2000 Ver.14. Hasil/kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah Evaluasi kekuatan struktur kolom pada Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Kampung Baru Raya yang terpasang pada kolom K1 35 x 35 dengan jumlah tulangan pokok 4 – D15 dan sengkang $\phi 8-100$ sedangkan lebih kecil dari pada tulangan hasil analisis yakni 8-D16 dan sengkang $\phi 8-50$. Tulangan yang terpasang di lapangan kurang dari persyaratan ρ_{min} kolom yaitu 1% (seharusnya dipasang minimal 7-D16) sehingga perlu dilakukan perkuatan struktur agar kolom tersebut dapat bertahan sesuai umur rencana. Untuk kekuatan struktur balok pada Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Kampung Baru Raya yang terpasang di lapangan yaitu tumpuan atas sebesar 4D16, tumpuan bawah 3-D16, lapangan atas 3-D16, lapangan bawah 4-D16, dan jumlah tulangan yang didapat dari hasil analisis yaitu tumpuan atas Balok B1 hasil analisis sebesar 3-D13, tumpuan bawah 2-D13, lapangan atas 2-D13, lapangan bawah 2-D13. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan asumsi pembebanan pada proses perencanaan, namun jumlah tulangan yang terpasang di lapangan terpasang lebih banyak dibandingkan hasil analisis maka balok yang terpasang sudah aman berdasarkan perencanaan menggunakan peraturan pembebanan yang terbaru.

5. Hizkia Yehezkie Mamesah (2014) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis *Pushover* pada Bangunan dengan *Soft Story* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja bangunan soft story pada kondisi pasca elastik akibat beban gempa. Metode yang digunakan meliputi metode koefisien perpindahan (FEMA 356), yaitu prosedur statik *nonlinier* dari FEMA

273/356, serta metode spektrum kapasitas (ATC-40) untuk menilai kinerja struktur. Analisis pushover nonlinier statik dilakukan dengan menghasilkan kurva kapasitas yang kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metode spektrum kapasitas yang telah terintegrasi dalam program SAP 2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan dengan *soft story* cenderung menunjukkan perilaku struktural yang kurang stabil ketika dianalisis menggunakan metode *pushover*.

6. H. Manalip (2014), dengan judul Analisis *Pushover* Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. Tujuan dari penelitian ini ada 4 yaitu adalah 1) Untuk menganalisis beban gempa pada struktur gedung bertingkat tipe podium. 2) Untuk mengetahui beberapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan oleh struktur bangunan tipe podium seperti pada pemodelan akibat gempa. 3) Untuk mengetahui target perpindahan dan level kinerja sesuai yang disyaratkan ATC 40 dan FEMA 356. 4) Bagaimana pola kerutuhan pada struktur gedung bertingkat tipe podium. Hasil/kesimpulan dari penelitian ini yaitu 1) Gaya geser dasar maksimum yang menentukan dari kelima tipe gedung yang terbesar, yaitu gedung non podium 2165 ton dengan perpindahan maksimum 0,97 m, dan yang terkecil adalah gedung podium III yaitu 1614 ton, dengan perpindahan maksimum 0,63. 2) Secara keseluruhan target perpindahan berdasarkan FEMA 356 mendapatkan hasil yang terbesar untuk semua tipe gedung dibanding dengan ATC 40 yang mendapatkan hasil terkecil. 3) Level kinerja berdasarkan FEMA 356 masuk kategori B, yaitu menunjukkan batas linear yang kemudian akan diikuti dengan terjadinya pelelehan pada struktur. 4) Level kinerja berdasarkan

ATC 40 yaitu *Immediate Occupancy* untuk semua tipe gedung, yang artinya suatu kondisi yang mana struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional segera setelah gempa terjadi (*damage state*). 5) Distribusi sendi plastis sesuai yang diharapkan, yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah, karena terjadi keruntuhan pada balok dulu, kemudian diikuti pada kolom.

7. Maritza Syifa Syahira (2023), dengan judul Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis *Pushover* Berdasarkan atc-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*). Tujuan dari penelitian ini ada 2 yaitu adalah 1) mendapatkan nilai V dan δ pada saat *Performance point* yang tercapai dari hasil analisis *Pushover* dengan beban gempa MCE_R (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*). 2) Mendapatkan dan mengetahui level kinerja struktur gedung perkantoran yang ditinjau berdasarkan ATC-40 dengan beban gempa MCE_R (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*). Hasil/kesimpulan dari penelitian ini yaitu 1) Nilai *performance point* yang diperoleh dari hasil analisis *pushover* dengan menggunakan beban gempa MCE_R pada arah x yaitu $V = 20149,839$ kN dan $\delta = 0,309$ m. Kemudian untuk arah Y yaitu $V = 26643,81$ kN dan $\delta = 0,231$ m. 2) Tingkat kinerja struktur dari gedung perkantoran di Kota Padang pada level gempa MCE_R adalah *Damage Control*.

2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Perbedaan hasil penelitian terdahulu dengan penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 1. Penelitian terdahulu telah membahas berbagai aspek yang

relevan dengan topik ini, namun terdapat perbedaan yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

Tabel 1 Perbedaan dengan peneliti terdahulu

No	Penulis	Judul Artikel	Perbedaan
1	Sijabat (2023),	Evaluasi Struktur Atas Pada Gedung Rumah Sakit Grand Mtira Medika Medan-Sumatera Utara	Objek penelitian ini adalah perencanaan struktur plat, balok, dan kolom sesuai dengan standar SNI-2847-2013. Sementara itu, penulis fokus pada evaluasi kinerja struktur atas bangunan dengan menggunakan metode analisis <i>pushover</i> berbasis elemen hingga melalui perangkat lunak SAP 2000.
2	Ismail (2014),	Analisa Kinerja Struktur Atas Gedung 7 Lantai Dengan Varian Dimensi Dan Lokasi <i>Shearwall</i> Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel	Objek penelitian ini adalah membandingkan momen maksimum, gaya geser, dan defleksi berdasarkan perhitungan menggunakan SAP 2000 pada bangunan dengan penerapan <i>shear wall</i> dan sistem rangka pemikul momen (SRPM). Sementara itu, penulis melakukan penelitian untuk mengevaluasi kinerja struktur atas bangunan dengan menggunakan analisis <i>pushover</i> berbasis elemen hingga melalui perangkat lunak SAP 2000.
3	Asmara (2023)	Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi Dengan analisis <i>pushover</i> menggunakan aplikasi pemodelan struktur	Objek penelitian ini adalah menganalisis kinerja gedung bertingkat tinggi dalam menahan beban lateral, khususnya beban akibat gempa, guna menilai ketahanan dan stabilitas struktur. Sedangkan penulis fokus pada evaluasi kinerja struktur atas bangunan dengan menggunakan analisis <i>pushover</i> berbasis SAP 2000

4	Syahland (2021)	Analisis Pembebanan Struktur Bangunan Atas Gedung Kantor Kelurahan Kampung Baru Raya Bandar Lampung.	Objek penelitian meliputi pengujian di lapangan, analisis struktur, serta analisis perkuatan. Sementara itu, penulis fokus pada penelitian mengenai cara mengevaluasi. Evaluasi kinerja struktur atas bangunan dilakukan dengan menggunakan analisis pushover berbasis SAP 2000.
5	Mamesah (2014)	Analisis <i>Pushover</i> Pada Bangunan Dengan <i>Soft Story</i>	Objek penelitian ini adalah menganalisis kinerja bangunan dengan <i>soft story</i> pada kondisi pasca elastik akibat beban gempa. Sementara itu, penulis melakukan penelitian untuk mengevaluasi kinerja struktur atas bangunan menggunakan analisis <i>pushover</i> berbasis SAP 2000.
6	Manalip (2014)	Analisis <i>Pushover</i> Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium	Objek penelitian ini adalah menganalisis pengaruh beban gempa pada struktur gedung bertingkat dengan tipe podium, guna mengetahui besarnya gaya maksimum yang mampu ditahan oleh struktur tersebut berdasarkan pemodelan beban gempa. Sedangkan penulis fokus pada evaluasi kinerja struktur atas bangunan dengan menggunakan analisis <i>pushover</i> berbasis SAP 2000.
7	Syahira (2023)	Judul Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis <i>Pushover</i> Berdasarkan atc-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (<i>Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted</i>).	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur gedung perkantoran berdasarkan pedoman ATC40 dan beban gempa MCER (<i>Maximum Considered Earthquake</i>). Sementara itu, penulis fokus mengevaluasi kinerja struktur atas bangunan menggunakan analisis <i>pushover</i> berbasis SAP 2000.

2.3 Konsep Dasar Evaluasi Kinerja Seismik

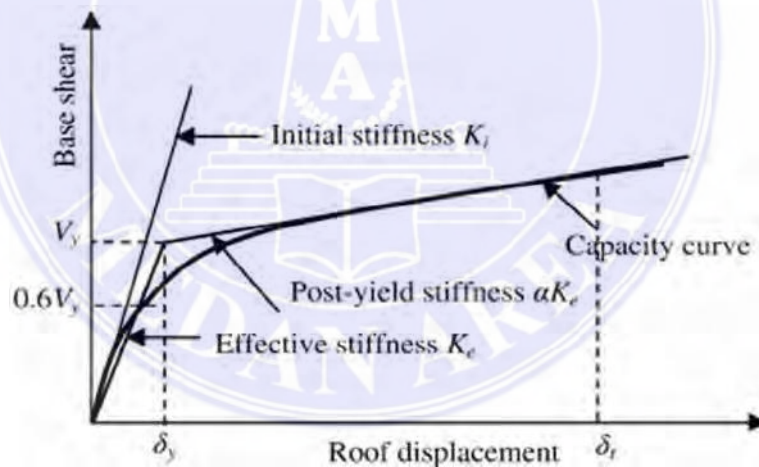
Evaluasi kinerja seismik adalah suatu proses analisis yang bertujuan untuk menilai kemampuan sebuah struktur dalam menahan beban gempa. Evaluasi ini difokuskan untuk menjamin keselamatan penghuni, mengurangi kerusakan struktur, serta meningkatkan daya tahan bangunan terhadap getaran akibat gempa. Pendekatan berbasis kinerja, seperti yang diatur dalam FEMA P58-6 (2018), digunakan untuk membandingkan bagaimana struktur merespons pada berbagai tingkat intensitas gempa.

Metode analisis dalam evaluasi kinerja seismik terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu analisis linier dan non-linier. Analisis linier, seperti metode respons spektrum dan analisis gaya lateral statis ekuivalen, digunakan untuk menghitung respons awal struktur terhadap gempa. Sementara itu, analisis non-linier meliputi metode *pushover* dan analisis riwayat waktu memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme kegagalan dan kapasitas plastis struktur (ATC-40, 1996).

Evaluasi kinerja seismik melibatkan berbagai parameter utama seperti gaya geser dasar, perpindahan atap, dan distribusi sendi plastis pada elemen struktural. Dengan penerapan standar internasional seperti ASCE 41-17 dan FEMA 440, evaluasi ini mampu memberikan gambaran yang lebih akurat tentang ketahanan bangunan terhadap gempa. Penilaian kinerja seismik didasarkan pada tingkat kerusakan yang dapat ditoleransi sesuai dengan intensitas gempa yang terjadi. Sebagai referensi, Tabel 2 menyajikan tingkatan kinerja struktur menurut ATC-40 dan FEMA 356, sementara Gambar 1 memperlihatkan kurva kapasitas struktur.

Tabel 2 Tingkat Kinerja Seismik (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17)

Tingkat Kinerja	Deskripsi	Kondisi Struktur
Operasional (OP)	Bangunan tetap berfungsi dengan sedikit atau tanpa kerusakan.	Tidak ada kerusakan signifikan.
Batas Layan (IO- <i>Immediate Occupancy</i>)	Struktur mengalami sedikit kerusakan, tetapi masih bisa digunakan.	Kerusakan minor pada elemen non-struktural.
Pre-Kerusakan (LS- <i>Life Safety</i>)	Struktur mengalami kerusakan signifikan tetapi tidak runtuh	Kerusakan sedang pada elemen struktural.
Ambang Keruntuhan (CP - <i>Collapse Prevention</i>)	Struktur hampir runtuh tetapi masih dapat berdiri.	Kerusakan berat pada elemen struktural.



Dari Gambar 1 Persamaan yang dapat diperoleh:

1. Persamaan Kekakuan Awal (K_i)

Kekakuan awal (K_i) dapat dinyatakan sebagai rasio antara gaya geser dasar sebelum leleh (V_y) dengan perpindahan leleh (δ_y) sebagaimana ditunjukkan. pada Persamaan (1)

$$K_i = \text{Kekakuan awal (initial stiffness)}$$

V_y = Gaya geser saat leleh (*yield base shear*)

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

2. Persamaan Kekakuan Efektif (K_e)

Kekakuan efektif adalah kekakuan yang mempertimbangkan perubahan kekakuan setelah melewati batas elastis sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2)

K_e = Kekakuan efektif (*effective stiffness*)

$0.6 V_y$ = Gaya geser efektif untuk menentukan kekakuan efektif

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

3. Persamaan Kekakuan Pasca Leleh (aK_e)

Setelah melewati batas elastis, struktur mengalami penurunan kekakuan. Kekakuan pasca-leleh dinyatakan dengan faktor reduksi kekakuan α sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3)

K_{post} = Kekakuan pasca leleh (*post yield stiffness*)

a = Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan efektif

K_e = kekakuan efektif (*effective stiffness*)

4. Persamaan Kapasitas Struktur (Kurva Kapasitas)

Kurva kapasitas secara umum dapat dinyatakan dengan persamaan linear sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4).

V = Gaya geser dasar (*base shear*)

K_i = Kekakuan awal (*initial stiffness*)

δ = Perpindahan atap (*roof displacement*)

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

Setelah melewati δ_y , kurva berubah mengikuti kekakuan pasca leleh sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (5).

V = Gaya geser dasar (*base shear*)

V_y = Gaya geser saat leleh (*yield base shear*)

K_{post} = Kekakuan pasca leleh (*post yield stiffness*)

δ = Perpindahan atap (*roof displacement*)

δ_y = Perpindahan leleh (*yield displacement*)

2.3.1 Prinsip Dasar Analisis Pushover

Analisis *pushover* merupakan metode evaluasi struktur yang digunakan untuk memahami perilaku bangunan saat mengalami gempa. Metode ini termasuk dalam analisis statik nonlinier, di mana beban lateral diterapkan secara bertahap hingga struktur mencapai kondisi kegagalan.

Dalam analisis ini, struktur dimodelkan dengan memperhitungkan perilaku *nonlinier* dari komponen-komponen penyusunnya, seperti balok, kolom, dan sambungan. Saat beban lateral meningkat, beberapa elemen mulai melewati batas elastisnya dan membentuk sendi plastis. Kehadiran sendi plastis ini menjadi indikator utama untuk mengidentifikasi titik-titik lemah yang rentan mengalami kegagalan dalam struktur.

Selama proses analisis, hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan puncak bangunan (*roof displacement*) dicatat dalam bentuk kurva

kapasitas. Kurva ini memberikan gambaran mengenai kapasitas struktur dalam menahan beban gempa dan memungkinkan evaluasi tingkat kerusakan yang mungkin terjadi.

Hasil dari analisis *pushover* kemudian dibandingkan dengan kriteria kinerja yang telah ditetapkan dalam standar seismik, seperti FEMA 356 atau ATC-40. Dari sini, dapat ditentukan apakah struktur masih dalam kondisi aman, memerlukan perbaikan, atau bahkan harus diperkuat untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa. Dengan demikian, analisis *pushover* menjadi alat penting dalam perancangan dan rehabilitasi bangunan tahan gempa. Evaluasi hasil analisis *pushover* umumnya menggunakan beberapa parameter utama seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Evaluasi Analisis *Pushover* (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17)

Parameter	Definisi	Fungsi Dalam Evaluasi
<i>Base Shear</i>	Gaya geser maksimum yang dapat ditahan struktur sebelum kolaps.	Menentukan kapasitas lateral struktur.
<i>Roof Displacement</i>	Perpindahan lateral maksimum pada puncak bangunan.	Menunjukkan tingkat deformasi struktur.
<i>Performance Point</i>	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan seismik.	Digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi kinerja yang diinginkan.
<i>Hinge Formation</i>	Titik pada elemen struktur yang mengalami plastifikasi.	Menunjukkan pola kegagalan struktur.

2.3.2 Parameter Utama Dalam Analisis Pushover

Dalam analisis *pushover*, terdapat beberapa parameter utama yang berperan dalam menentukan respons struktur terhadap beban gempa. Salah satu parameter utama adalah *base shear*, yaitu gaya geser total yang bekerja pada dasar struktur sebagai respons terhadap beban lateral. Selain itu, *roof displacement* atau perpindahan atap menjadi indikator penting dalam mengukur deformasi maksimum yang dialami struktur. Sendi plastis juga menjadi parameter krusial karena menunjukkan titik-titik pada elemen struktur yang mengalami pelelehan plastis, yang menandakan awal dari kegagalan struktur. Kurva kapasitas, yang menggambarkan hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*, digunakan untuk mengevaluasi kapasitas dan tingkat kinerja struktur.

Parameter lain yang penting adalah faktor reduksi kekakuan, yang mencerminkan degradasi kekakuan elemen akibat non-linearitas material dan geometri. Selain itu, level kinerja struktur, seperti *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*, digunakan untuk menilai apakah suatu bangunan masih aman atau memerlukan perkuatan. Dalam analisis *pushover*, aspek-aspek ini sangat penting untuk mengevaluasi respons struktur secara menyeluruh. Dengan mempertimbangkan semua parameter ini, analisis *pushover* dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai ketahanan struktur terhadap beban gempa. Analisis ini juga membantu dalam menentukan apakah modifikasi desain atau strategi perkuatan diperlukan. Beberapa parameter utama dalam analisis *pushover* beserta fungsinya dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Parameter Utama dalam Analisis *Pushover* (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17)

Parameter	Definisi	Fungsi Dalam Evaluasi
Gaya Geser Dasar	Gaya geser maksimum yang diterima bangunan sebelum mencapai kondisi batas.	Menunjukkan kapasitas lateral struktur
Perpindahan Atap	Perpindahan lateral maksimum pada puncak bangunan akibat beban lateral.	Menentukan deformasi dan stabilitas struktur.
<i>Performance Point</i>	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan gempa	Digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi kriteria kinerja seismik.
Sendi Plastis	Titik di mana elemen struktur mengalami plastifikasi akibat beban lateral.	Menunjukkan pola dan urutan kegagalan elemen struktur.
Faktor Daktilitas	Rasio perpindahan maksimum terhadap perpindahan saat leleh.	Mengukur kapasitas deformasi sebelum kegagalan.
Kekakuan Struktur	Hubungan antara gaya dan perpindahan pada struktur.	Menunjukkan seberapa besar ketahanan struktur terhadap deformasi.

2.3.3 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Pembentukan sendi plastis pada struktur terjadi ketika elemen-elemen seperti balok dan kolom menerima tegangan yang melampaui batas elastis mereka akibat peningkatan beban lateral. Pada awalnya, struktur merespons beban dengan

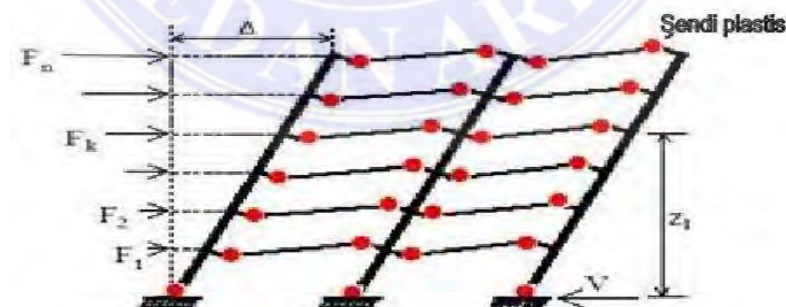
cara elastis, dimana deformasi dapat kembali ke kondisi semula setelah beban dihapus. Namun, seiring bertambahnya beban, sebagian elemen mulai mengalami batas leleh yang mengakibatkan perubahan permanen pada material, yang dikenal sebagai plastisitas.

Ketika plastisitas terjadi, daerah tertentu dalam elemen struktur mengalami rotasi tanpa peningkatan kapasitas beban yang signifikan, membentuk apa yang disebut sebagai sendi plastis. Sendi plastis ini berfungsi sebagai titik pelepasan energi yang memungkinkan struktur untuk menyerap dan mendistribusikan beban gempa lebih efektif. Biasanya, sendi plastis pertama kali terbentuk pada ujung-ujung balok, kemudian merambat ke kolom, tergantung pada konfigurasi dan kekakuan sistem struktur. Jika jumlah sendi plastis yang terbentuk semakin banyak hingga melibatkan elemen-elemen utama dalam struktur, maka hal ini dapat menyebabkan mekanisme keruntuhan global.

Dalam analisis *pushover*, pembentukan sendi plastis menjadi indikator penting dalam mengevaluasi tingkat keamanan struktur. Dengan memahami pola pembentukan dan penyebaran sendi plastis, penulis dapat merancang atau memperkuat bangunan agar memiliki kapasitas deformasi yang lebih baik, sehingga mampu bertahan terhadap gempa tanpa mengalami kegagalan yang signifikan. Tabel 5 menampilkan jenis-jenis sendi plastis berdasarkan elemen struktur yang mengalami pelepasan. Gambar 2 menunjukkan mekanisme pembentukan sendi plastis hingga mencapai tanah. Berdasarkan bentuk dan jenis tulangnya, kolom dibagi menjadi tiga kategori yang diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 5 Jenis dan Karakteristik Sendi Plastis (FEMA 356, ATC-40, ASCE 41-17, SNI 1726:2019)

Jenis Sendi Plastis	Elemen yang Terkena	Karakteristik	Dampak pada Struktur
Sendi Plastis pada Balok	Balok	Terjadi pada ujung balok akibat momen lentur yang tinggi.	Umumnya diharapkan dalam desain tahan gempa untuk disipasi energi.
Sendi Platis pada Kolom	Kolom	Terjadi di dasar kolom atau di sambungan balok- kolom akibat gaya aksial dan momen	Jika berlebihan, dapat menyebabkan keruntuhan bangunan.
Sendi Plastis pada Sambungan Balok-Kolom	Sambungan	Terjadi pada pertemuan balok dan kolom akibat gaya geser tinggi.	Bisa menyebabkan kegagalan mendadak jika tidak diperkuat.
Sendi Plastis pada Dinding Geser	Dinding Geser	Terjadi pada dasar dinding akibat kombinasi momen dan geser.	Mengurangi kapasitas struktur dalam menahan gaya lateral.



Gambar 2 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis (teknikaftui.wordpress.com)

Dari Gambar 2 persamaan yang dapat diperoleh:

1. Gaya Geser di Setiap Tingkat

Gaya geser di setiap tingkat dapat dihitung dengan berdasarkan

Persamaan (1):

$$V_i = \sum_{j=i}^n F_j$$

di mana F_j adalah gaya lateral pada tingkat ke- j

2. Distribusi Gaya Lateral

Distribusi gaya lateral biasanya mengikuti pola tertentu, seperti

Persamaan (2):

C = Faktor Seismik

M_i = Masa Lantai ke- i

z_i = Tinggi Lantai ke- i

3. Perpindahan Lateral Maximum (Δ)

Jika struktur mengalami deformasi akibat gaya gempa, perpindahan lateral total dapat dihitung menggunakan mode distribusi gaya statik ekuivalen atau analisis modal.

H = Tinggi total struktur

E = Modulus elastisitas material

I = Momen inersia elemen struktur

2.4 Perangkat Lunak SAP 2000 dalam analisis struktur

Program SAP 2000 merupakan program computer untuk menganalisis dan desain struktur bidang dua dimensi dan tiga dimensi dan sudah banyak digunakan dalam beberapa pekerjaan proyek skala kecil atau besar maupun nasional sampai internasional.

Dalam sistem program SAP 2000 yang sudah berbasis gratis ini maka proses pembuatan model, pemeriksaan, tampilan dan hasil sampai pada perancangan dapat dilakukan secara interaktif langsung terhadap gambar model di layar. Pada program SAP 2000 ini dapat mengetahui adanya gaya-gaya yang muncul pada suatu elemen struktur sebagai akibat dari munculnya beban yang diterima oleh elemen struktur.

2.4.1 Fitur Utama Dalam Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* memiliki beberapa fitur utama yang menjadikannya alat penting dalam evaluasi ketahanan struktur terhadap gempa. Salah satu fitur utama adalah kurva kapasitas, yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*). Kurva ini memberikan wawasan tentang seberapa besar kapasitas struktur dalam menahan beban lateral sebelum mencapai kegagalan.

Fitur lainnya adalah pembentukan sendi plastis, yang menunjukkan titik-titik pada elemen struktural yang mengalami pelelehan plastis akibat peningkatan beban. Dengan memetakan penyebaran sendi plastis, penulis dapat mengidentifikasi bagian struktur yang rentan terhadap kegagalan serta menentukan strategi perkuatan yang tepat.

Selain itu, level kinerja struktur juga menjadi fitur penting dalam analisis *pushover*. Berdasarkan standar seperti FEMA 356 dan ATC-40, kinerja struktur dikategorikan ke dalam beberapa tingkat, seperti *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*. Evaluasi ini memungkinkan perancang untuk memastikan apakah bangunan tetap aman setelah gempa atau memerlukan perbaikan.

Fitur tambahan yang tak kalah penting adalah distribusi beban lateral, yang dapat berbentuk segitiga, seragam, atau adaptif, bergantung pada karakteristik dinamis struktur. Pemilihan distribusi beban ini mempengaruhi bagaimana respons struktur dalam menghadapi gaya gempa yang berbeda.

Dengan adanya fitur-fitur ini, analisis *pushover* menjadi metode yang efektif dalam mengevaluasi kapasitas struktur, memprediksi mekanisme kegagalan, dan merancang strategi perkuatan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa.

2.4.2 Keunggulan dan Keterbatasan Dibandingkan Perangkat Lunak Lain

SAP2000 merupakan salah satu perangkat lunak analisis dan desain struktur yang banyak digunakan dalam rekayasa sipil. Keunggulan utama SAP2000 terletak pada kemampuannya dalam melakukan analisis linear dan non-linear, termasuk analisis statik dan dinamik. Perangkat lunak ini memiliki antar muka yang intuitif dengan berbagai fitur visualisasi yang mempermudah pemodelan, analisis, dan interpretasi hasil. Selain itu, SAP2000 mendukung berbagai metode analisis seperti *pushover analysis*, *time history analysis*, dan *response spectrum analysis*, menjadikannya alat yang fleksibel dalam mengevaluasi respons struktur terhadap beban gempa.

Dibandingkan dengan perangkat lunak lain seperti ETABS atau STAAD.Pro, SAP2000 lebih unggul dalam analisis struktur umum, termasuk jembatan, menara, dan rangka baja, sementara ETABS lebih fokus pada bangunan bertingkat tinggi. SAP2000 juga memiliki fitur *Auto Meshing*, yang memungkinkan pembagian elemen menjadi lebih detail secara otomatis, sehingga meningkatkan akurasi perhitungan.

Namun, SAP2000 juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah kemampuan desain struktur yang lebih terbatas dibandingkan ETABS dalam perhitungan gedung bertingkat, terutama untuk desain beton bertulang yang lebih kompleks. Selain itu, meskipun SAP2000 memiliki banyak fitur analisis, pengguna pemula mungkin mengalami kesulitan dalam memahami seluruh fungsi yang tersedia karena kompleksitas antar muka dan opsi input yang luas.

Dari segi pemrosesan data, SAP2000 juga bisa lebih lambat dibandingkan perangkat lunak seperti MIDAS atau ANSYS dalam analisis elemen hingga tingkat detail yang sangat tinggi. Keterbatasan lainnya adalah kustomisasi *output* laporan, yang dalam beberapa kasus kurang fleksibel dibandingkan STAAD.Pro yang lebih mudah diintegrasikan dengan berbagai format laporan teknis. Tabel 6 menampilkan perbandingan SAP 2000 dengan perangkat lunak lain.

Tabel 6 Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain (FEMA P-695, 200

Metode Analisis	Keunggulan	Keterbatasan
SAP2000	Fleksibel dalam analisis struktur umum	Kurang optimal untuk gedung bertingkat tinggi
ETABS	Ideal untuk gedung bertingkat	Kurang fleksibel untuk struktur lain
STAAD.Pro	Mudah diintegrasikan dengan laporan linear	Kompleks untuk pemodelan

2.5 Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bertingkat

2.5.1 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat

Dalam perencanaan Gedung struktur bertingkat kinerja seismic menjadi laporan, yang dalam beberapa kasus kurang fleksibel dibandingkan STAAD.Pro

yang lebih mudah diintegrasikan dengan berbagai format laporan teknis. Tabel 6 aspek krusial untuk memastikan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap gempa. Metode *pushover* berbasis elemen hingga digunakan sebagai pendekatan analisis nonlinear statik untuk mengevaluasi kapasitas struktur dalam menahan beban lateral akibat gempa.

Struktur gedung bertingkat umumnya terdiri dari sistem rangka beton bertulang atau baja yang dirancang untuk menahan beban gravitasi dan lateral. Kolom dan balok berperan sebagai elemen utama dalam menopang beban, sedangkan dinding geser sering digunakan untuk meningkatkan kekakuan lateral. Sistem pondasi yang dalam, seperti tiang pancang atau *bore pile*, memastikan distribusi beban yang optimal ke dalam tanah.

Dalam analisis *pushover*, gedung bertingkat diuji dengan pembebanan bertahap hingga mencapai kondisi plastis. Perilaku elemen struktural dianalisis melalui pendekatan elemen hingga, yang mempertimbangkan deformasi, redistribusi gaya, serta mekanisme kegagalan struktur. Dari kurva kapasitas yang dihasilkan, dapat diketahui seberapa besar daktilitas, kapasitas beban, serta tingkat kerusakan yang terjadi pada berbagai bagian bangunan

Melalui pendekatan ini, evaluasi kinerja seismik gedung dapat memberikan gambaran mengenai titik lemah struktur serta efektivitas sistem penahan gempa yang diterapkan dalam perencanaan bangunan. Dengan demikian, metode *pushover* berbasis elemen hingga menjadi alat yang sangat berguna dalam meningkatkan desain, perencanaan, dan perkuatan gedung bertingkat agar lebih tangguh serta mampu bertahan terhadap beban gempa yang terjadi. Tabel 7 menampilkan karakteristik struktur gedung bertingkat

Tabel 7 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat (FEMA P-1050, 2016)

No	Parameter	Nilai Tipikal	Satuan
1	Tinggi Bangunan	10 - 300	meter
2	Periode Fundamental (T)	0.5 - 5.0	detik
3	<i>Rasio Drift</i> Antar Lantai	< 2.5%	%
4	Jenis Material	Beton/Baja	-

2.5.2 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Respon Seismik

Respons seismik suatu struktur dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan karakteristik tanah, properti struktur, serta karakteristik gempa itu sendiri. Salah satu faktor utama adalah jenis tanah dan kondisi geoteknik di lokasi bangunan. Tanah lunak cenderung memperkuat gelombang seismik dan menyebabkan amplifikasi getaran yang lebih besar dibandingkan tanah keras, yang dapat meningkatkan risiko kerusakan struktur.

Selain itu, karakteristik dinamis struktur, seperti periode fundamental dan rasio redaman, juga berperan penting dalam respons seismik. Struktur dengan periode alami yang mendekati periode dominan gempa akan mengalami resonansi, sehingga gaya gempa yang diterima menjadi lebih besar. Oleh karena itu, perancangan struktur harus mempertimbangkan pemilihan material dan konfigurasi elemen struktural yang sesuai untuk menghindari efek resonansi yang merugikan.

Distribusi massa dan kekakuan dalam bangunan juga sangat mempengaruhi bagaimana struktur merespons gempa. Struktur yang memiliki massa besar di bagian atas atau distribusi kekakuan yang tidak merata akan lebih rentan terhadap deformasi berlebih dan bahkan kegagalan struktural. Oleh karena itu, penting untuk

menjaga keseimbangan antara massa dan kekakuan guna meningkatkan performa seismik bangunan.

Faktor lain yang berpengaruh adalah karakteristik gempa itu sendiri, seperti durasi, frekuensi, dan intensitas percepatan tanah. Gempa dengan durasi panjang dan akselerasi tinggi akan menyebabkan akumulasi energi yang lebih besar dalam struktur, meningkatkan risiko kerusakan. Selain itu, efek ketidakberaturan arsitektural dan struktural, seperti bentuk asimetris atau ketidakraturan vertikal, dapat menyebabkan distribusi gaya yang tidak merata, sehingga meningkatkan potensi keruntuhan akibat torsi atau ketidakstabilan lokal.

2.6 Standar dan Pedoman Terkait

2.6.1 Pedoman ATC-40 Dalam Evaluasi Kapasitas Struktur

ATC-40 (*Applied Technology Council 40*) merupakan pedoman yang digunakan dalam evaluasi kinerja seismik bangunan menggunakan metode *pushover*, yang bertujuan untuk memahami respons *non-linear* struktur saat terkena beban gempa. Metode *pushover* untuk mengevaluasi kapasitas struktur terhadap beban lateral hingga mencapai kondisi leleh atau kegagalan. Pedoman ini banyak digunakan dalam analisis bangunan eksisting guna menentukan apakah struktur masih memiliki ketahanan yang cukup terhadap gempa atau perlu diperkuat (ATC-40, 1996).

Selain itu, ATC-40 juga membagi kinerja struktur dalam beberapa tingkat, yaitu *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*. Setiap tingkat kinerja menggambarkan sejauh mana struktur dapat bertahan terhadap gempa sebelum mengalami kerusakan signifikan. Tingkat kinerja struktur

digunakan untuk menentukan sejauh mana suatu bangunan masih dapat digunakan atau harus diperkuat setelah mengalami gempa besar.

Sebagai pedoman evaluasi kapasitas struktur, ATC-40 menjadi salah satu referensi utama dalam perencanaan retrofit dan mitigasi risiko seismik, terutama pada bangunan eksisting. Dengan menggunakan pendekatan berbasis *pushover* dan kapasitas spektrum, pedoman ini memungkinkan perancang struktur untuk mengidentifikasi titik lemah bangunan dan merencanakan strategi perkuatan yang lebih efektif. Tabel 8 menampilkan level kinerja struktur.

Tabel 8 level kinerja struktur (ATC-40)

<i>Parameter</i>	<i>Performance Level</i>			
	IO	<i>Damage Control</i>	LS	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	0.33 (Vi/Pi)
<i>Maksimum inelastik</i>	0.005	0.005 s.d 0.015	<i>no limit</i>	<i>no limit</i>

2.6.2 SNI 1726:2019 Tentang Perencanaan Ketahanan Gempa

SNI 1726:2019 adalah standar nasional Indonesia yang mengatur tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini menggantikan versi sebelumnya, SNI 1726:2012, dengan berbagai pembaruan berdasarkan penelitian terbaru dan pemetaan seismik yang lebih akurat dari Pusat Studi Gempa Nasional (*National Earthquake Study Center (PUSGEN)*, 2017). Menurut SNI 1726:2019, Perancangan struktur harus mempertimbangkan beban gempa berdasarkan peta bahaya gempa yang telah diperbarui sesuai dengan data terbaru mengenai sumber gempa, pergerakan lempeng tektonik, serta riwayat gempa di Indonesia (BSN, 2019).

Dalam standar ini, metode perhitungan gaya gempa disesuaikan dengan kompleksitas struktur dan kebutuhan desain, seperti metode statik ekuivalen, respons spektrum, dan analisis *time history*, yang digunakan untuk memperkirakan respons dinamis bangunan terhadap gempa. Selain itu, SNI 1726:2019 mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristiknya dan menentukan kategori risiko bangunan serta tingkat kinerja struktur agar bangunan dapat bertahan terhadap berbagai tingkat intensitas gempa. Pemilihan sistem struktur dan faktor reduksi gempa (R) harus mempertimbangkan kemampuan struktur dalam menyerap energi gempa guna mencegah keruntuhan total (BSN, 2019).

Beberapa sistem struktur yang diatur dalam standar ini meliputi *Moment Resisting Frame* (MRF), *Shear Wall System*, dan *Dual System*, yang masing-masing memiliki peran dalam meningkatkan ketahanan bangunan. SNI 1726:2019 juga mencakup persyaratan untuk retrofit dan perkuatan bangunan eksisting, seperti *jacketing*, penggunaan damper seismik, dan isolasi fondasi, yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa. Dengan penerapan standar ini, diharapkan bangunan di Indonesia dapat lebih aman dan mampu mengurangi dampak gempa terhadap keselamatan manusia serta kerugian material. Tabel 9 menampilkan klasifikasi situs dan koefisien seismik.

Tabel 9 Klasifikasi Situs dan Koefisien Seismik (SNI 1726:2019).

Klasifikasi Situs	Deskripsi	Nilai Koefisien Seismik
SA	Tanah sangat keras	0,8
SB	Tanah keras	0,9
SC	Tanah sedang	1,0
SD	Tanah lunak	1,2
SE	Tanah sangat lunak	1,4

2.6.3 ASCE 41-17 dan FEMA 440 Sebagai Referensi Pendukung

Dalam evaluasi dan perbaikan kinerja seismik bangunan eksisting, ASCE 41-17 dan FEMA 440 menjadi referensi penting yang sering digunakan bersama pedoman ATC-40. ASCE 41-17 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*) merupakan standar yang dikembangkan oleh *American Society of Civil Engineers* (ASCE) untuk menilai dan memperkuat bangunan eksisting terhadap gempa. Menurut ASCE 41-17 (2017), Evaluasi seismik bangunan harus mempertimbangkan ketidakpastian dalam kapasitas struktur serta karakteristik beban gempa yang mungkin terjadi. Standar ini mencakup metode berbasis deformasi dalam analisis *pushover*, yang memberikan pendekatan lebih realistis terhadap *respons non-linear* struktur (*Evaluation & Buildings*, 2023).

Di sisi lain, FEMA 440 berfungsi sebagai dokumen penyempurnaan dari ATC-40, yang memberikan koreksi terhadap metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) serta perbaikan dalam pendekatan analisis *pushover*. FEMA 440 mengembangkan koreksi dalam estimasi respons non-linear struktur dan memberikan alternatif perhitungan berbasis metode *displacement coefficient*. Dokumen ini memperbaiki beberapa keterbatasan dalam ATC-40, khususnya dalam mengakomodasi efek kekakuan non-linier serta redaman yang lebih akurat (FEMA 440, 2005).

Dengan menggunakan ASCE 41-17 dan FEMA 440 sebagai referensi pendukung, evaluasi kinerja seismik bangunan menjadi lebih akurat dan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Kedua dokumen ini memberikan pedoman yang lebih rinci mengenai strategi retrofit serta analisis kinerja bangunan terhadap gempa yang berbeda.

2.7 Kriteria Karakteristik Bangunan

Kinerja seismik bangunan merupakan parameter penting dalam perencanaan struktur untuk memastikan bahwa bangunan mampu bertahan terhadap gempa dengan tingkat kerusakan yang dapat diterima. Menurut ASCE 41-17, Kinerja seismik bangunan ditentukan berdasarkan tingkat kemampuan struktur dalam menahan deformasi akibat gempa, yang diklasifikasikan ke dalam berbagai tingkat kinerja (ASCE 41-17, 2017). Tingkat kinerja ini meliputi *Immediate Occupancy* (IO), di mana bangunan tetap dapat digunakan setelah gempa dengan sedikit atau tanpa kerusakan struktural *Life Safety* (LS), yang memungkinkan adanya kerusakan struktural tetapi tanpa risiko runtuh total serta *Collapse Prevention* (CP), yang menandakan bahwa bangunan berada dalam kondisi batas sebelum mengalami kegagalan total.

Dalam konteks perencanaan ketahanan gempa di Indonesia, SNI 1726:2019 mengacu pada prinsip-prinsip kinerja seismik untuk memastikan bahwa bangunan dapat memenuhi tingkat perlindungan yang sesuai dengan kategori risiko bangunan. Bangunan dengan kategori risiko tinggi, seperti rumah sakit dan fasilitas darurat, harus dirancang untuk mencapai tingkat kinerja *Immediate Occupancy* setelah terjadi gempa besar (BSN, 2019). Dengan adanya standar ini, diharapkan bangunan dapat tetap berfungsi dan memberikan perlindungan optimal bagi penghuninya, bahkan setelah mengalami peristiwa gempa bumi.

2.7.1 Tingkat Kinerja Bangunan Berdasarkan ATC-40

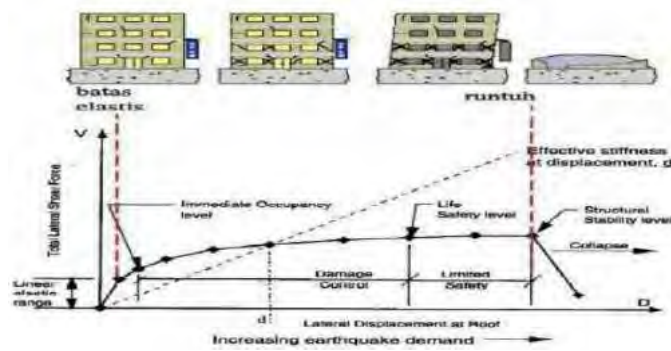
Pedoman ATC-40 menetapkan tingkat kinerja bangunan sebagai ukuran untuk mengevaluasi sejauh mana suatu struktur dapat bertahan terhadap gempa sebelum mengalami kegagalan signifikan. Menurut ATC-40 (1996), Tingkat kinerja

bangunan didefinisikan berdasarkan batas deformasi dan kondisi elemen struktural serta non-struktural setelah terkena beban gempa. Dalam ATC-40, kinerja bangunan dikategorikan ke dalam beberapa tingkat utama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

Pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO), bangunan tetap dapat digunakan setelah gempa dengan sedikit atau tanpa kerusakan struktural. Struktur harus tetap memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk menahan beban gempa berikutnya. *Tingkat Immediate Occupancy* ditargetkan untuk bangunan dengan fungsi kritis, seperti rumah sakit dan fasilitas tanggap darurat (ATC-40, 1996).

Tingkat *Life Safety* (LS) memungkinkan adanya kerusakan struktural yang signifikan, tetapi masih menjaga stabilitas keseluruhan bangunan sehingga penghuni memiliki waktu untuk menyelamatkan diri. Pada tingkat *Life Safety*, struktur dapat mengalami deformasi plastis yang cukup besar, namun tetap mencegah runtuh total (ATC-40, 1996).

Sedangkan pada tingkat *Collapse Prevention* (CP), bangunan berada pada batas kemampuan terakhirnya, di mana struktur dapat mengalami kerusakan berat dan hampir runtuh, tetapi masih berdiri tanpa mengalami kegagalan total. Tingkat *Collapse Prevention* merupakan kondisi minimal yang harus dipenuhi untuk memastikan bangunan tidak langsung runtuh selama gempa besar, sehingga masih dapat memberikan perlindungan terhadap penghuninya. Dalam analisis kinerja seismik, kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun bangunan mengalami deformasi signifikan, elemen struktural utamanya tetap mampu menahan beban gravitasi. Gambar 3 menampilkan Diagram Tingkat Kinerja Bangunan.



Gambar 3 Diagram Tingkat Kinerja Bangunan (ATC-40, 1996)

2.7.2 Metode Penilaian Kinerja Berdasarkan Target Displacement

Metode penilaian kinerja seismik berbasis target *displacement* digunakan untuk mengevaluasi respons non-linear suatu bangunan terhadap gempa dengan mempertimbangkan perpindahan maksimum yang dapat dicapai oleh struktur. Menurut FEMA 440 (2005), Target *displacement* adalah perpindahan lateral maksimum yang diharapkan terjadi pada puncak struktur selama gempa desain. Pendekatan ini lebih akurat dibandingkan metode berbasis gaya, karena mencerminkan perilaku aktual bangunan yang mengalami deformasi plastis selama gempa.

Salah satu metode utama dalam pendekatan ini adalah *Displacement Coefficient Method* (DCM), yang dikembangkan dalam FEMA 440 untuk meningkatkan estimasi target displacement dengan memperhitungkan berbagai faktor, seperti kekakuan efektif, redaman ekuivalen, dan ketidakpastian respons seismik. Metode koefisien perpindahan memungkinkan evaluasi yang lebih realistis terhadap deformasi struktur dengan mempertimbangkan efek redaman dan plastisitas (FEMA 440, 2005).

Selain DCM, pendekatan lain yang sering digunakan adalah *Capacity Spectrum Method* (CSM), yang diperkenalkan dalam ATC-40. Dalam metode ini,

kurva kapasitas struktur dibandingkan dengan spektrum permintaan seismik untuk menentukan titik keseimbangan yang menunjukkan target *displacement*. Metode spektrum kapasitas membantu dalam memvisualisasikan interaksi antara kapasitas struktur dan permintaan gempa untuk menentukan tingkat kinerja yang diharapkan (ATC-40, 1996).

Dengan menggunakan metode berbasis *target displacement*, evaluasi perilaku dan kinerja seismik bangunan menjadi lebih akurat dan mendekati kondisi sebenarnya. Pendekatan ini memungkinkan pemodelan yang lebih realistis terhadap respons struktur saat mengalami beban gempa, sehingga hasil analisis lebih dapat diandalkan. Dengan demikian, metode ini dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan *retrofit* dan mitigasi risiko seismik guna meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa.

2.8 Pembebanan

2.8.1 Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah beban permanen yang selalu bekerja pada struktur bangunan selama masa layan. Beban ini berasal dari berat sendiri elemen struktural seperti balok, kolom, pelat, serta komponen tetap seperti atap, plafon, dan lantai. Karena sifatnya yang konstan, beban mati dapat dihitung secara pasti berdasarkan volume dan massa jenis materialnya, dan menjadi dasar penting dalam desain struktur.

Dalam analisis struktur, beban mati biasanya dihitung lebih dulu sebelum beban hidup atau beban gempa. Nilai ini digunakan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang harus ditahan struktur. Kesalahan dalam memperkirakan beban mati

bisa menyebabkan kerusakan atau bahkan kegagalan struktur, sehingga perhitungannya harus dilakukan dengan cermat.

2.8.2 Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup adalah beban sementara yang dapat berubah-ubah selama masa penggunaan bangunan. Beban ini mencakup aktivitas manusia, furnitur, peralatan, dan benda-benda yang dapat dipindahkan. Karena sifatnya tidak tetap, besar beban hidup biasanya ditentukan berdasarkan standar perencanaan seperti SNI atau peraturan teknis lainnya.

Beban hidup penting diperhitungkan dalam desain struktur karena bisa menyebabkan variasi gaya dalam elemen bangunan. Meskipun tidak selalu terjadi secara bersamaan, perencanaan struktur tetap harus mempertimbangkan kondisi terburuk dari beban hidup. Tujuannya adalah untuk menjaga keamanan dan kenyamanan penghuni bangunan selama penggunaannya.

2.8.3 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Beban gempa adalah gaya-gaya dinamis yang bekerja pada struktur akibat getaran tanah saat terjadi gempa bumi. Menurut SNI 1726:2019, beban gempa harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan, terutama di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Peraturan ini mengatur cara menentukan gaya gempa berdasarkan respons spektrum, jenis tanah, dan klasifikasi risiko bangunan.

SNI 1726:2019 menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik spektrum respons untuk menghitung beban gempa. Pemilihan metode tergantung pada tinggi bangunan, sistem struktur, dan tingkat kepentingan bangunan. Dengan mengikuti ketentuan ini, diharapkan struktur mampu terjaga.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

3.1.1 Pendekatan Penelitian (Kuantitatif dan Analitis)

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan analitis untuk mengevaluasi kinerja seismik gedung bertingkat melalui metode *pushover* berbasis elemen hingga. Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini dengan mengandalkan data numerik dan perhitungan matematis guna menganalisis respons struktur bangunan terhadap gempa. Simulasi berbasis elemen hingga dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis struktur, seperti SAP2000 atau ETABS yang menghasilkan *output* berupa parameter teknis, seperti gaya dalam, perpindahan, dan kapasitas struktur. Data hasil simulasi ini kemudian dibandingkan dengan standar perencanaan seismik, misalnya SNI 1726:2019, guna menilai apakah struktur memenuhi persyaratan keselamatan yang telah ditetapkan.

Sementara itu, pendekatan analitis dilakukan dengan mengevaluasi respons struktur terhadap beban lateral yang meningkat secara bertahap menggunakan metode *pushover analysis*. Analisis ini didasarkan pada pendekatan berbasis kapasitas, yang menghubungkan antara gaya dan perpindahan untuk menilai tingkat kerusakan struktur. Dengan menggunakan metode ini, dapat diketahui sejauh mana struktur mampu menahan deformasi sebelum mencapai kondisi kritis. Hasil evaluasi ini kemudian dikategorikan ke dalam tingkat kinerja bangunan, seperti *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, atau *Collapse Prevention*, berdasarkan pedoman seperti FEMA 356 dan ATC-40.

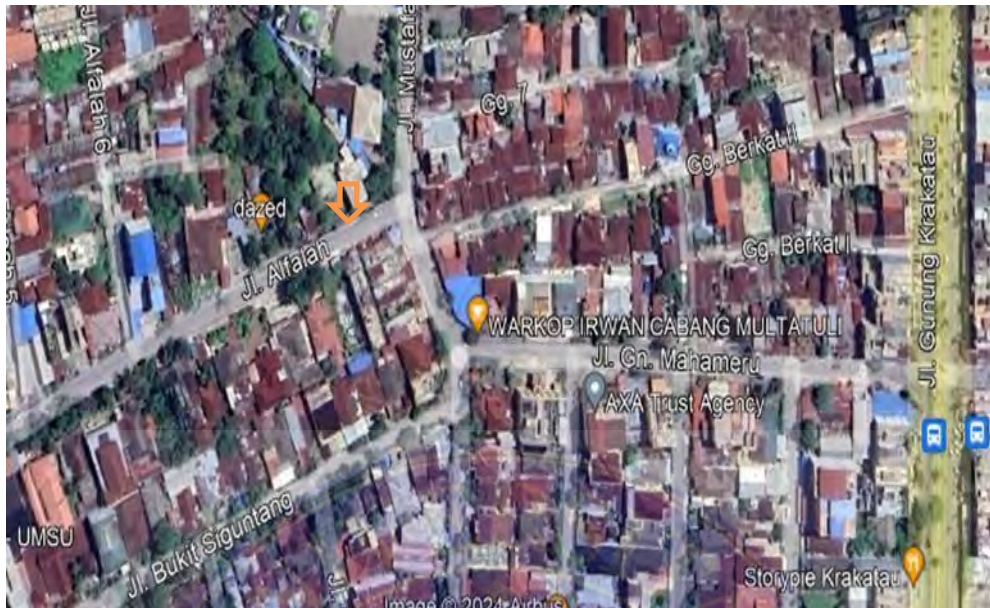
3.1.2 Jenis Data Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang diperoleh melalui simulasi numerik berbasis elemen hingga menggunakan perangkat lunak SAP2000. Data utama yang dianalisis berupa kurva kapasitas, yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) sebagai respons struktur terhadap beban lateral akibat gempa. Menurut FEMA 440 (2005), kurva kapasitas merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kapasitas dan kinerja seismik suatu bangunan berdasarkan analisis *pushover*.

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data parameter material dan geometri struktur, seperti kuat tekan beton, kuat tarik baja tulangan, dimensi elemen struktur, serta beban yang bekerja pada bangunan. Data ini diperoleh berdasarkan standar perencanaan gempa, seperti SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, yang mengatur ketentuan mengenai desain bangunan tahan gempa di Indonesia. Standar desain bangunan tahan gempa diperlukan untuk memastikan bahwa struktur memiliki kapasitas yang cukup dalam menahan beban lateral akibat gempa tanpa mengalami kegagalan yang berbahaya (ATC-40, 1996). Seluruh data yang dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif untuk mengevaluasi kapasitas struktur, pola mekanisme kegagalan, serta tingkat kinerja bangunan dalam menghadapi beban gempa.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

RS Haji Medan 9 Lantai. Berlokasi di Lantai Jalan Rumah Sakit Haji Medan No 47, Kec. Percut Sei Tuan, Deli Serdang, Sumatera Utara. Gambar 4 menampilkan Lokasi penelitian. Adapun penelitian ini dilaksanakan selama dua bulan, sesuai dengan perencanaan waktu yang telah ditetapkan.



Gambar 4 Lokasi Penelitian (Google Earth, 2025)

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk pemodelan struktur dan analisis pushover guna mengevaluasi kinerja seismik bangunan. Selanjutnya, *Microsoft Excel* dimanfaatkan untuk pengolahan data serta analisis hasil simulasi yang diperoleh dari SAP2000. AutoCAD digunakan dalam pembuatan gambar teknis guna memvisualisasikan struktur secara lebih detail. Selain itu, komputer atau laptop diperlukan untuk menjalankan perangkat lunak tersebut serta mengelola data penelitian.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data geometri bangunan, material struktur, beban yang bekerja, serta standar dan regulasi yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur. Data geometri bangunan mencakup dimensi struktur, jumlah lantai, serta tata letak elemen struktural yang digunakan dalam pemodelan. Data material struktur meliputi kuat tekan beton, kuat

tarik baja, modulus elastisitas, serta sifat elastis dan plastis dari material yang digunakan dalam struktur. Selain itu, data beban yang bekerja pada struktur mencakup beban mati, beban hidup, serta beban gempa yang diperhitungkan sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku.

Dalam penelitian ini, analisis struktur dilakukan berdasarkan standar dan regulasi yang berlaku. Standar yang digunakan meliputi SNI 1726:2019, yang mengatur perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non- gedung, serta SNI 2847:2019, yang menetapkan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Selain itu, pedoman ATC-40 dan FEMA 440 digunakan sebagai referensi dalam analisis *pushover* serta evaluasi kinerja seismik struktur.

3.4 Metode Pengumpulan Data

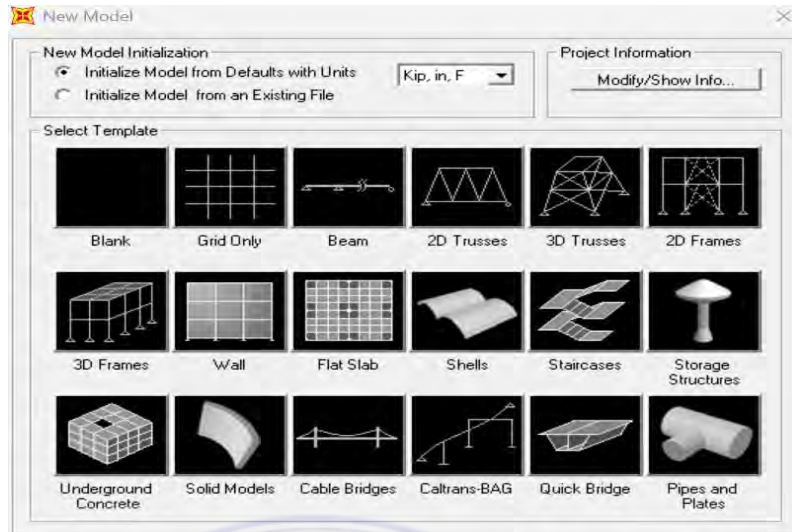
3.4.1 Data Eksisting Struktur Gedung Bertingkat

Data eksisting struktur Struktur gedung bertingkat dikumpulkan untuk memahami karakteristik teknis bangunan sebelum dilakukan analisis kinerja seismik. Tabel 10 menampilkan data yang mencakup berbagai aspek yang berkaitan dengan data bangunan, material struktur, serta pembebanan struktur, yang akan digunakan dalam pemodelan numerik menggunakan SAP2000.

Tabel 10 Data Bangunan, Material Struktur dan Pembebanan.

3.4.2 Proses Pemodelan Ulang Dengan SAP 2000

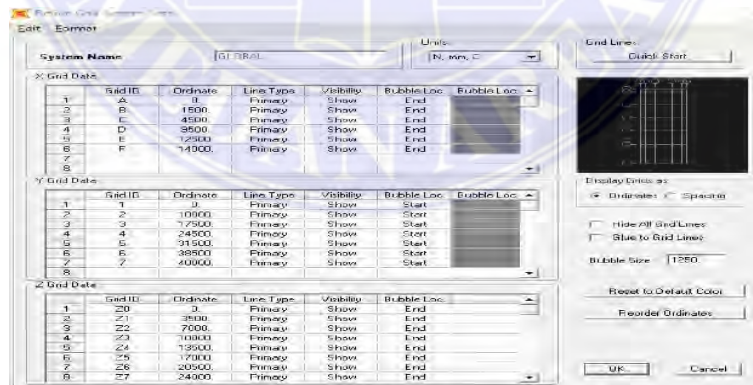
1. Buka *software* Sap 2000 yang sudah terinstal
2. Memulai membuat model baru, ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Model baru SAP

Membuat model baru (SAP 2000 V14, 2025)

- a. Klik *grid only*
- b. Ubah Satuan Menjadi N, mm, C
- c. Masukkan nilai x, y dan z pada *number of grid lines*.
- d. Kemudian klik OK, sehingga munculah *grid* yang diinginkan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Membuat *grid* (SAP 2000 V14, 2025)

3. Membuat Data Bahan/Material Beton

- a. Klik menu *define* – material lalu *add new material* kemudian Jenis Material beton bertulang

- b. Isikan Mutu beton (f_c) = 30 MPa
- c. Isikan Mutu Baja (f_y) = ulir 420 MPa
- d. Isikan MoE beton = $4700 \sqrt{f_c}$ MPa
- e. Isikan nilai *Modulus of Elasticity* (MoE) baja sebesar 200.000 MPa pada kolom yang tersedia, kemudian klik OK. Hasil input akan ditampilkan pada Gambar 7 sebagai verifikasi bahwa parameter material telah dimasukkan dengan benar sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan



Gambar 7 Data Bahan dan Material Beton (SAP 2000 V14, 2025)

- 4. Membuat Data Bahan/Material f_y Ulir.
 - a. Klik menu *define* – material lalu *add new* material kemudian jenis material *rebar*
 - b. Isikan Mutu Baja (f_y) = ulir 400 MPa
 - c. Isikan MoE baja = 200.000 MPa kemudian klik OK, ditampilkan pada

Gambar 8.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a material named 'Fy Ulir'. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (Fy Ulir), 'Material Type' (Rebar), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (7.697E-05) and 'Mass per Unit Volume' (7.849E-09). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (200000), 'Poisson's Ratio, U' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (76923.08). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (400), 'Minimum Tensile Stress, Fu' (413.6855), 'Expected Yield Stress, Fye' (303.3693), and 'Expected Tensile Stress, Fue' (455.054). The 'Units' dropdown is set to 'N, mm, C'. There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Gambar 8 Data Bahan dan Material Fy Ulir (SAP 2000 V14, 2025)

5. Membuat Data Bahan/Material Fy Polos

1. Klik menu *define* – material lalu *add new material* kemudian Jenis material *Rebar*
2. Isikan Mutu Baja (f_y) = Polos 240 MPa
3. Isikan MoE baja = 200.000 MPa kemudian klik OK, ditampilkan pada

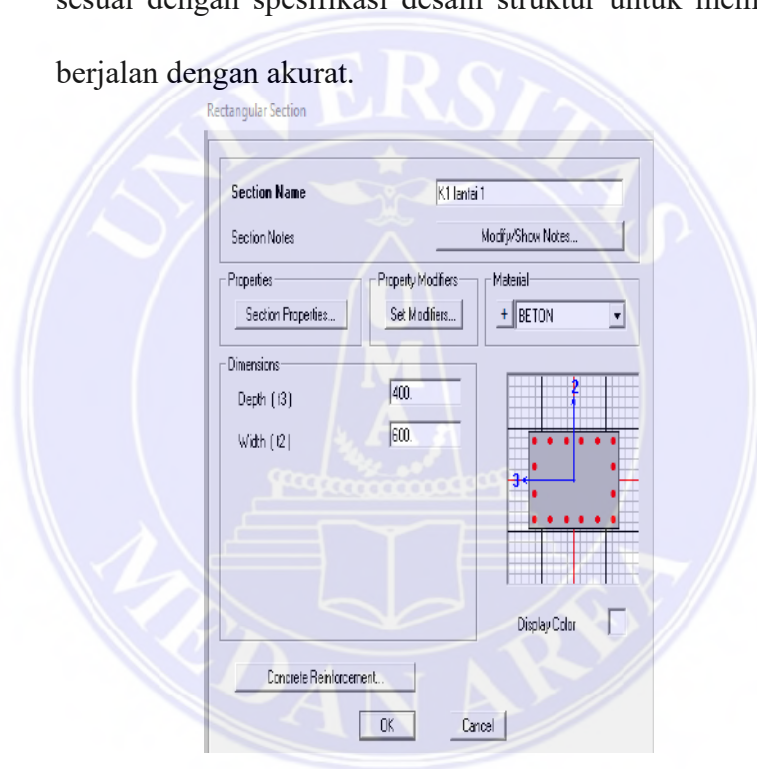
Gambar 9

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a material named 'Fy Polos'. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (Fy Polos), 'Material Type' (Rebar), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (7.697E-05) and 'Mass per Unit Volume' (7.849E-09). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (200000), 'Poisson's Ratio, U' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (76923.08). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (240), 'Minimum Tensile Stress, Fu' (413.6855), 'Expected Yield Stress, Fye' (303.3693), and 'Expected Tensile Stress, Fue' (455.054). The 'Units' dropdown is set to 'N, mm, C'. There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Gambar 9 Data Bahan dan Material Fy Polos (SAP 2000 V14, 2025)

6. Membuat Data Penampang Kolom

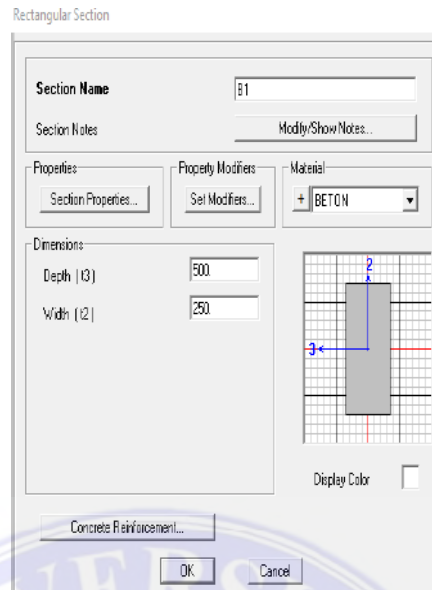
- a. Klik *define-section properties* kemudian *frame section*
- b. Klik *Add New Property*, pilih tipe *Concrete*, lalu klik *Rectangular*.
Selanjutnya, isikan dimensi lebar dan panjang kolom sesuai kebutuhan, kemudian klik OK. Setelah itu, properti kolom yang telah dibuat akan ditampilkan pada Gambar 10. Pastikan dimensi yang dimasukkan sesuai dengan spesifikasi desain struktur untuk memastikan analisis berjalan dengan akurat.



Gambar 10 Data Penampang Kolom (SAP 2000 V14, 2025)

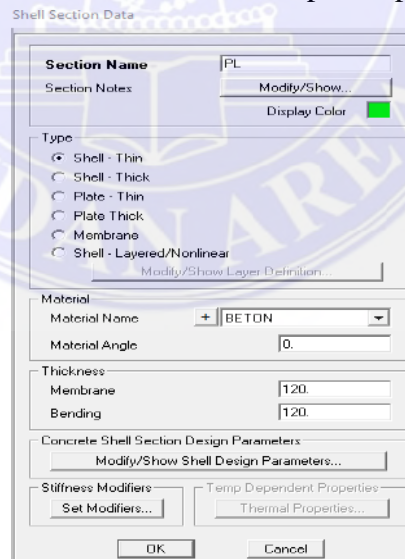
7. Membuat Data Penampang Balok

- a. Klik *define-section properties* kemudian *frame section*
- b. Klik *add new property* pilih *type concrete* klik *rectangular* lalu isikan dimesi lebar dan panjang balok sesuai kebutuhan kemudian klik OK, ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Data Penampang Balok (SAP 2000 V14, 2025)

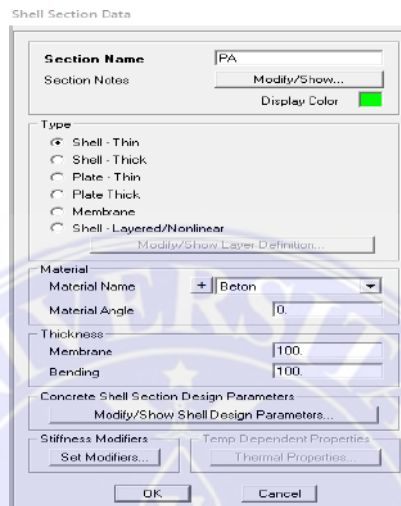
8. Membuat Data Penampang Pelat Lantai
 - a. Klik *define-section properties* kemudian *area section*
 - b. Klik *add new section* lalu isikan tebal pelat lantai sesuai kebutuhan kemudian klik OK, ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Data Penampang Pelat lantai (SAP 2000 V14, 2025)

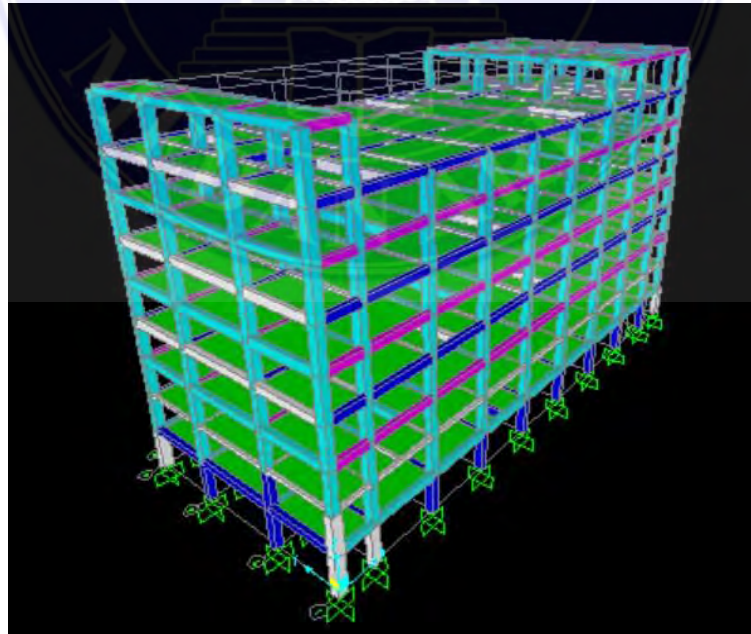
9. Membuat Data Penampang Pelat Atap

- a. Klik *define – section properties* kemudian *area section*
- b. Klik *add new section* lalu isikan tebal pelat atap sesuai kebutuhan kemudian klik OK, ditampilkan pada Gambar 13.



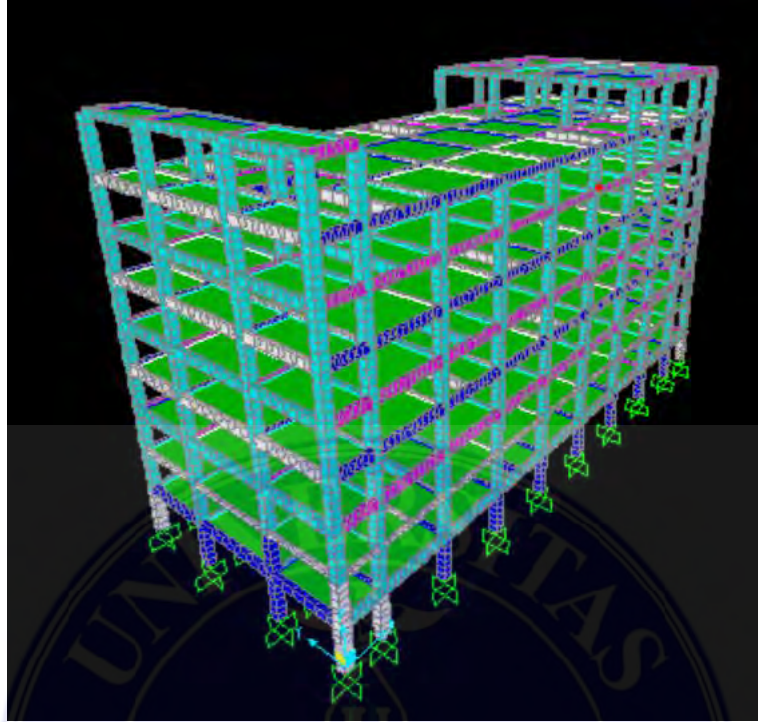
Gambar 13 Data Penampang Pelat Atap (SAP 2000 V14, 2025)

10. Pemodelan Sebelum di *Run*



Gambar 14 Pemodelan sebelum di *Run* (SAP 2000 V14, 2025)

11. Pemodelan Setelah di *Run*

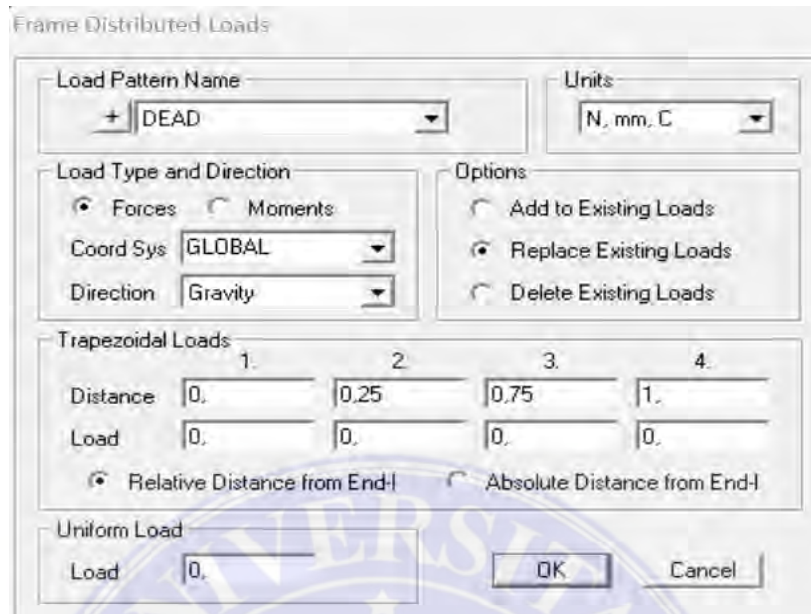


Gambar 15 Pemodelan sesudah di *Run* (SAP 2000 V14, 2025)

3.5 Metode Analisis Data

3.5.1 Simulasi Analisis Pushover Dengan SAP 2000

1. Menentukan Beban Mati Pelat Lantai
 - a. *Select* objek pada pelat lantai
 - b. Klik *assign* pilih *frame loads* lalu *distributed*. Setelah itu masukan beban mati pelat lantai di menu *uniform load* dan klik OK ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Input Beban Mati Pelat Lantai (SAP 2000 V14, 2025)

2. Menentukan Beban Hidup Pelat Lantai

- a. *Select* objek pada pelat lantai
- b. Klik *Assign*, lalu pilih *Frame Loads* dan pilih opsi *Distributed*.

Setelah itu, masukkan beban hidup pelat lantai pada menu *Uniform Load* sesuai dengan perencanaan struktur. Pastikan nilai beban yang dimasukkan telah sesuai dengan standar perhitungan. Setelah semua parameter diinput, klik *OK*. Hasil penerapan beban akan ditampilkan pada Gambar 17 sebagai verifikasi bahwa beban telah diterapkan dengan benar.

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: LL Units: KN, m, C

Load Type and Direction: Forces (selected), Moments, Coord Sys: GLOBAL, Direction: Gravity

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads (selected), Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Relative Distance from End-I (selected), Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load: 2.00

OK Cancel

Gambar 17 Input Beban Hidup Pelat Lantai (SAP 2000 V14, 2025)

3. Menentukan Beban Mati Pelat Atap
 - a. *Select* objek pada pelat atap
 - b. Klik *assign* pilih *frame loads* lalu *distributed*. Setelah itu masukan beban mati pelat atap di menu *uniform load* dan klik OK ditampilkan pada Gambar 18.

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: DEAD Units: KN, m, C

Load Type and Direction: Forces (selected), Moments, Coord Sys: GLOBAL, Direction: Gravity

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads (selected), Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

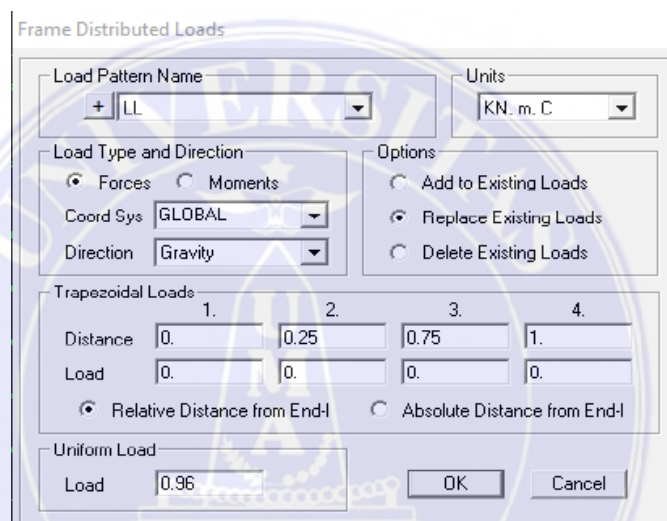
Relative Distance from End-I (selected), Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load: 0.49

OK Cancel

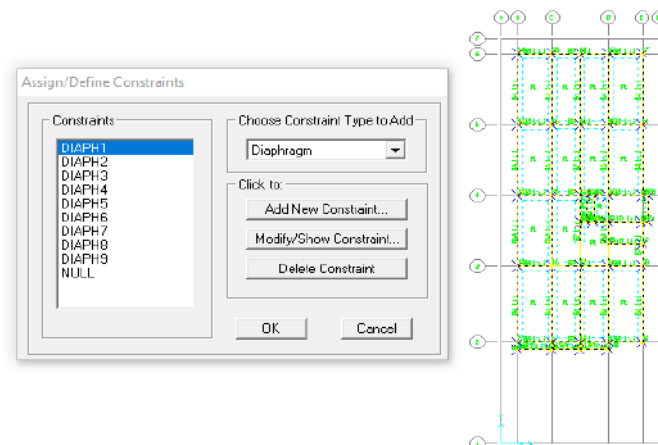
Gambar 18 Input Beban Mati Pada Atap (SAP 2000 V14, 2025)

4. Menentukan Beban Hidup Pelat Atap
 - a. *Select* objek pada pelat atap
 - b. Klik *assign* pilih *frame loads* lalu *distributed*. Setelah itu masukan beban hidup pelat atap di menu *uniform load* dan klik OK ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 19 *Input* Beban Hidup Tambahan Atap (SAP 2000 V14, 2025)

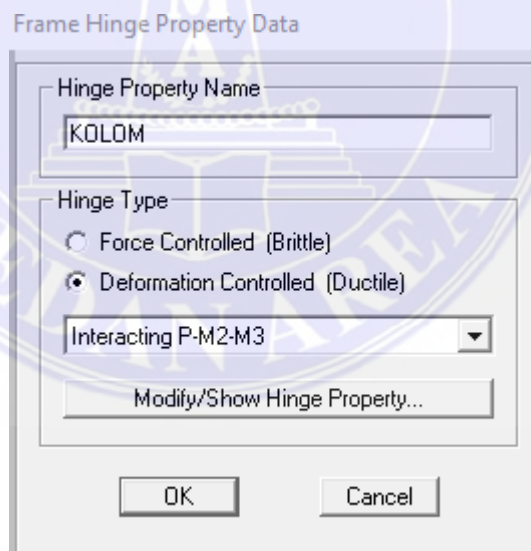
5. Menentukan Diaphragm Pada Setiap Lantai
 - a. *Select* objek pada lantai
 - b. Klik *assign* lalu join kemudian *constraints*. Setelah itu klik *define join constraints* setelah itu pilih *diaphragm* dan klik OK ditampilkan pada Gambar 2



Gambar 20 Input Diaphragm setiap Lantai (SAP 2000 V14, 2025)

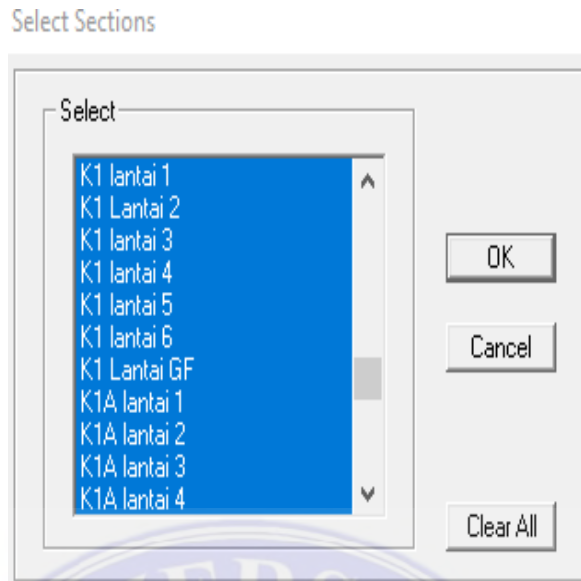
6. Menentukan *Hinge* Pada Kolom

- a. Klik *define* lalu *section properties* kemudian *hinge properties*
 - b. Klik *add new property* lalu pilih *concrete* dan klik OK
- ditampilkan pada Gambar 21.



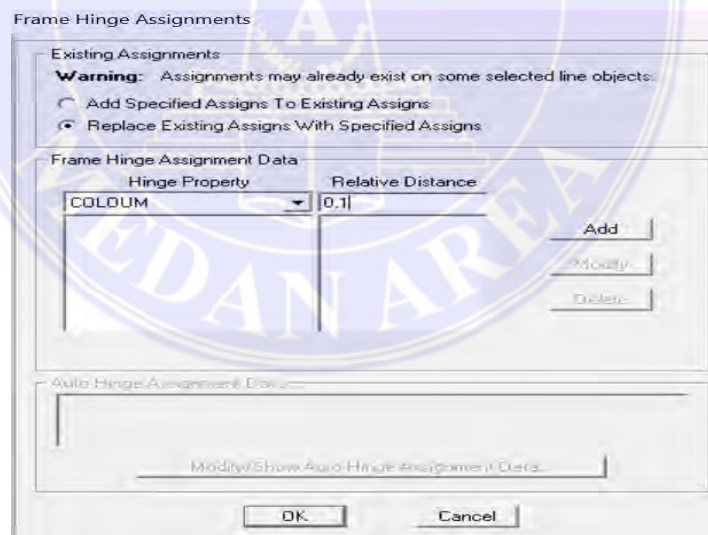
Gambar 21 Input Hinge Pada Kolom (SAP 2000 V14, 2025)

- c. Klik *Select* lalu *properties* kemudian *frame sections*
- d. Select semua kolom dan klik OK ditampilkakan pada Gambar 22



Gambar 22 *Select Section* Pada Kolom (SAP 2000 V14, 2025)

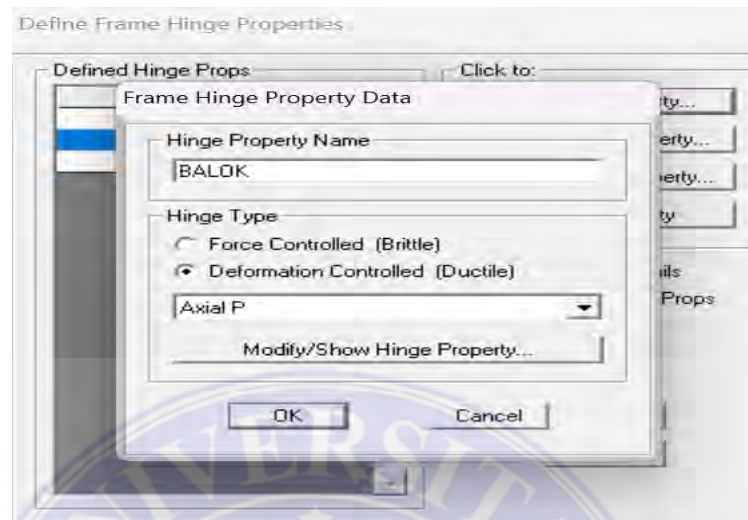
- e. Klik *Assign* kemudian *hinges*
- f. Lalu pilih kolom kemudian masukan jarak relatif dan klik OK ditampilkan pada Gambar 23.



Gambar 23 *Input Hinge* Pada Kolom (SAP 2000 V14, 2025)

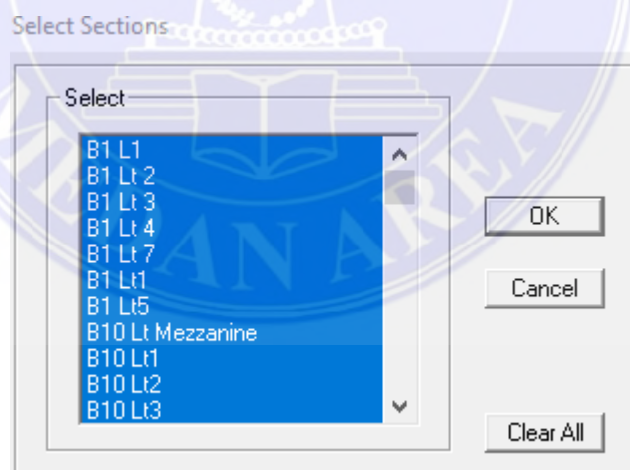
- 7. Menentukan *hinge* pada balok Menentukan *hinge* pada Kolom
 - a. Klik *define* lalu *section properties* lalu *hinge properties*

- b. Klik *add new property* lalu pilih *concrete* dan klik OK ditampilkan pada Gambar 24.



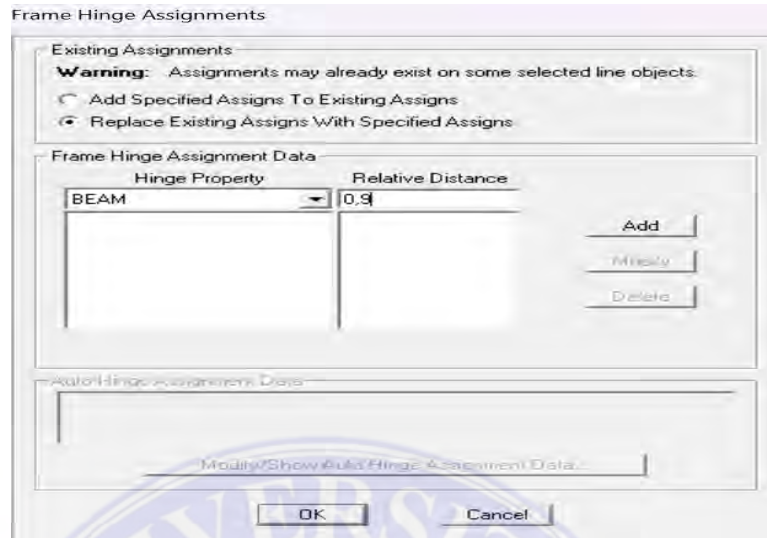
Gambar 24 *Input Hinge* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2025)

- c. Klik *Select* lalu *properties* kemudian *frame sections*
d. *Select* semua Balok dan klik OK ditampilkan pada Gambar 25.



Gambar 25 *Select Section* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2025)

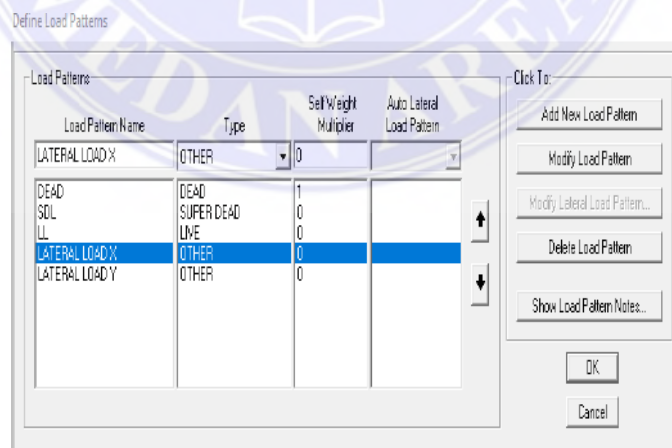
- e. Klik *Assign* kemudian *hinges*
f. Lalu pilih Balok kemudian masukan jarak relatif dan klik OK
ditampilkan pada Gambar 26.



Gambar 26 *Input Hinge* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2025)

8. Menentukan Beban Lateral X

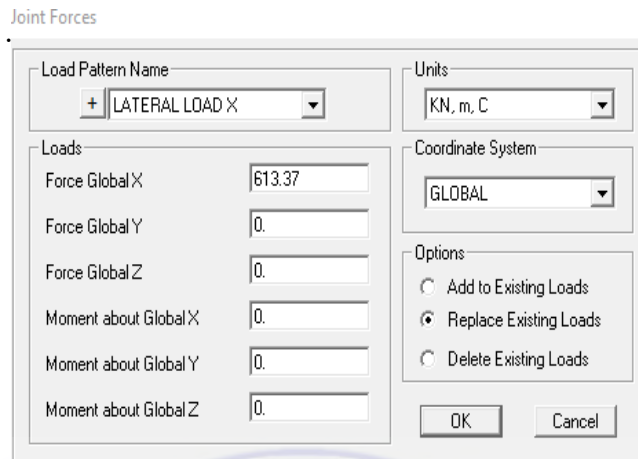
- a. Klik *define* Kemudian *load patterns*
- b. klik *Add New Load Patterns*, kemudian memasukkan nama *Lateral Load X* sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Proses ini ditampilkan pada Gambar 27.



Gambar 27 *Define Loard Paterns* (SAP 2000 V14, 2025)

- c. *Select* beban arah sumbu X
- d. Klik *assign* lalu klik *joint loads* kemudian pilih *forces* dan masukan

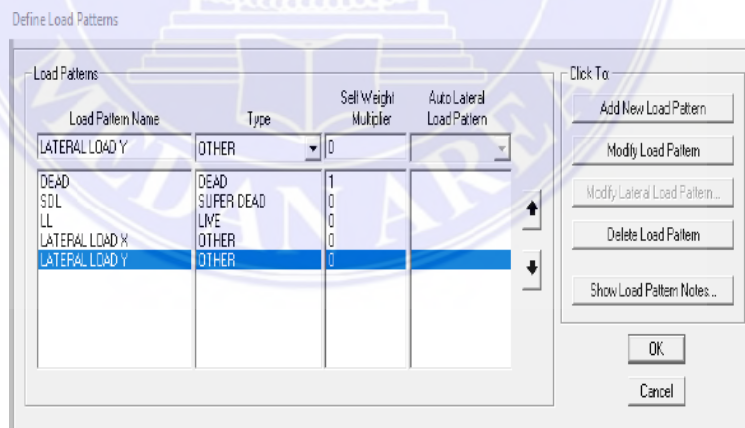
beban ke arah sumbu x setelah itu klik OK ditampilkan pada Gambar



Gambar 28 *Input* Beban Lateral X (SAP 2000 V14, 2025)

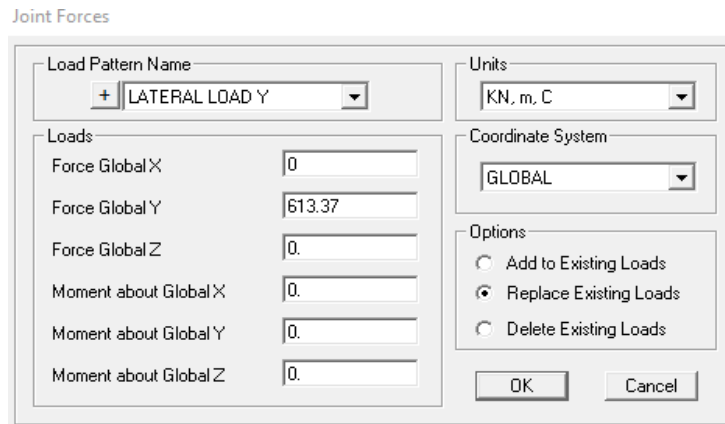
9. Menentukan Beban Lateral Y

- a. Klik *define* kemudian *load patterns*
- b. klik *Add New Load Patterns*, kemudian memasukkan nama *Lateral Load X* sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Proses ini ditampilkan pada Gambar 27.



Gambar 29 *Define Loard Paterns* (SAP 2000 V14, 2025)

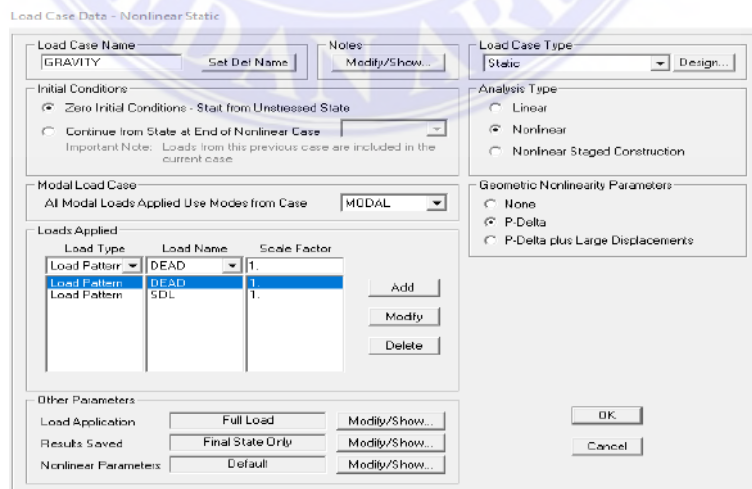
- c. *Select* beban arah sumbu X
- d. Klik *assign* lalu klik *joint loads* kemudian pilih *forces* dan masukan beban ke arah sumbu X setelah itu klik OK ditampilkan pada Gambar 30.



Gambar 30 Input Beban Lateral Y (SAP 2000 V14, 2025)

10. Menentukan *Gravity Non Linear Case*

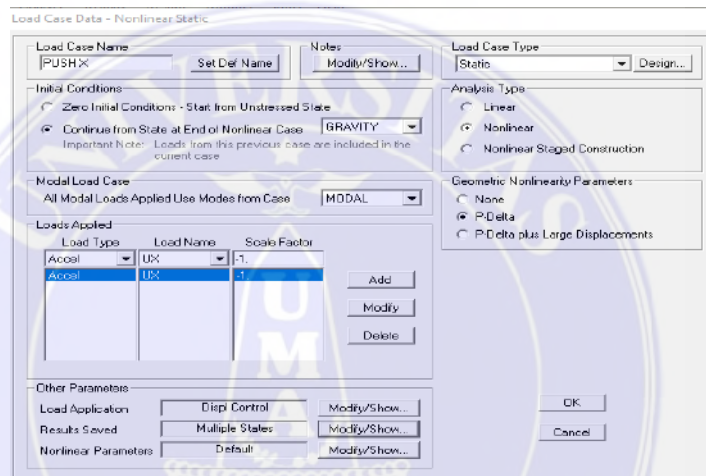
- a. Klik *define-load cases* lalu akan muncul menu *boxes difane load cases*.
- b. Klik *add new load case*, maka akan muncul *boxes load case data-nonlinear static*
- c. Pada option *analysis type* pilih *non linear* dan pada option *geometric nonlinear parameters* pilih *P-delta*. Lalu isikan data *loads applied* ditampilkan pada gambar 31.



Gambar 31 Input Static Nonlinier Case Gravity (SAP 2000 V14, 2025)

11. Menentukan *Non Linear Pushover Case*

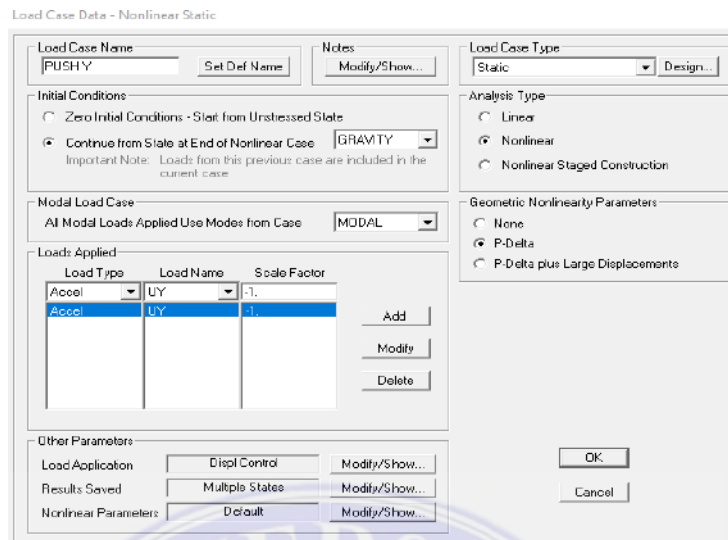
- a. Klik *define-load cases-add new load cases*. isikan *load cases name* = *push x*.
- b. Pada option *initial conditions* pilih *continuu from state at end of nonlinear case*, dan pilih *gravity*
- c. Pada option *load type* pilih *accel*, *load name* pilih UX dan input *scale factor* = -1 ditampilkan pada Gambar 32.



Gambar 32 *Static Nonlinear Push-X* (SAP 2000 V14, 2025)

12. Menentukan Non Linear Pushover Case

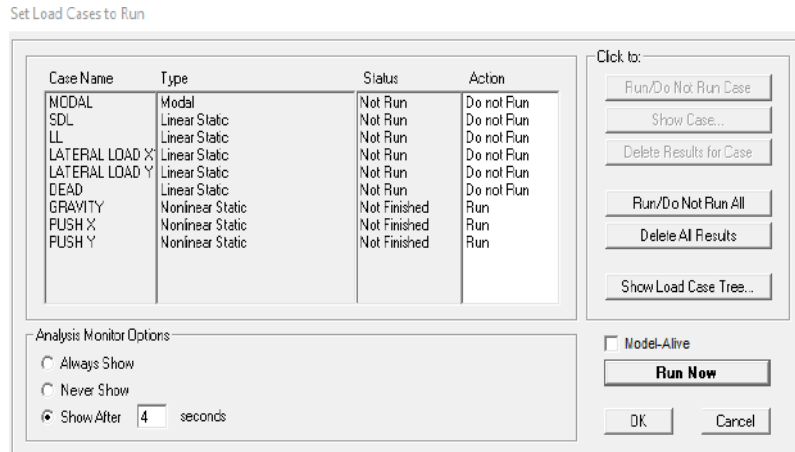
- a. Klik *define-load cases-add new load cases*. Isikan *load cases name* = *push-y*
- b. Pada option *initial conditions* pilih *continuu from state at end of nonlinear case*, dan pilih *gravity*
- c. Pada option *load type* pilih *accel*, *load name* pilih UY dan input *scale factor* = -1 ditampilkan pada Gambar 33.



Gambar 33 *Static Nonlinear Push-Y* (SAP 2000 V14, 2025)

13. *Running Program*

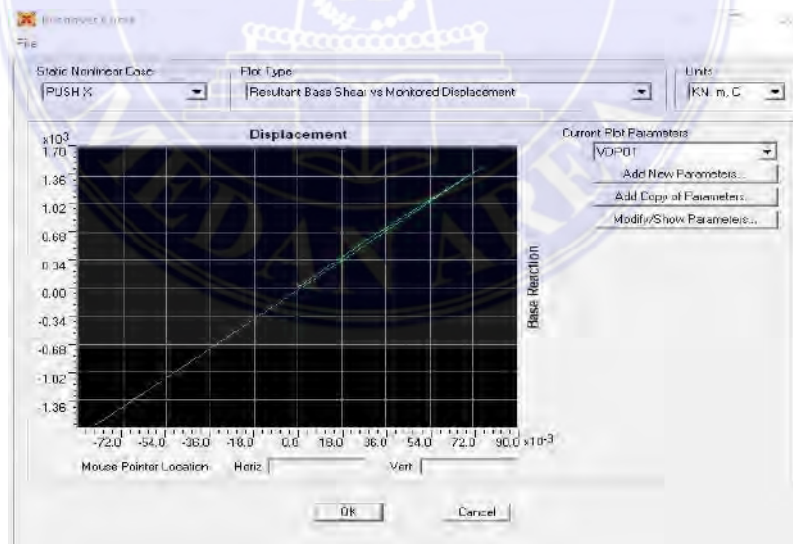
- a. *Run* program dengan klik pada menu *analyze – run analysis* atau tekan F5 dan akan muncul *boxes set load cases to run*
- b. Pilih *Case Modal* hingga *Dead*, lalu klik *Run/Do Not Case*. Pada tahap ini, analisis linier dinamik *respons spektrum* (RS) tidak dijalankan untuk mempercepat waktu proses *running*. Langkah ini dilakukan agar proses analisis lebih efisien tanpa mempengaruhi hasil utama yang diinginkan. Setelah semua pengaturan selesai, hasilnya akan ditampilkan pada Gambar 34 sebagai verifikasi bahwa tahapan telah dilakukan dengan benar.



Gambar 34 Memilih Load Case To Run (SAP 2000 V14, 2025)

14. Menampilkan Kurva Kapasitas Pushover

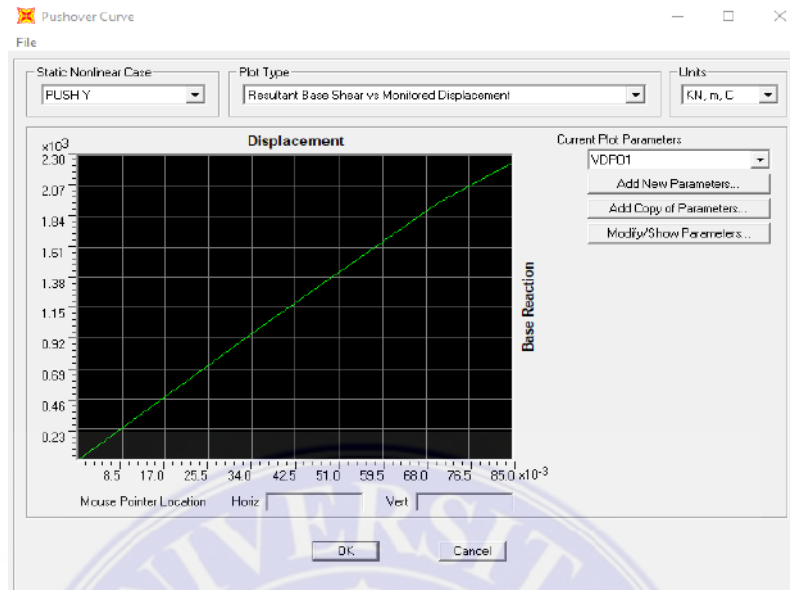
- a. Klik menu *display – show static pushover curve* maka akan muncul *boxes* baru
- b. Pada *option static nonlinear case* pilih *push-x* untuk *pushover* arah x-x ditampilkan pada gambar 35.



Gambar 35 Pushover Curve X (SAP 2000 V14, 2025)

- c. Klik menu *display – show static pushover curve* maka akan muncul *boxes* baru
- d. Pada *option static nonlinear case* pilih *push-y* untuk

pushover arah y-y ditampilkan pada Gambar 36.



Gambar 36 *Pushover Curve Y* (SAP 2000 V14, 2025)

3.5.2 Evaluasi Kapasitas Elemen Struktur Berdasarkan Kurva Kapasitas

Evaluasi kapasitas elemen struktur berdasarkan kurva kapasitas dilakukan dengan menganalisis hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap yang diperoleh dari analisis *pushover*. Kurva kapasitas ini menunjukkan bagaimana struktur berperilaku terhadap beban lateral hingga mencapai kondisi plastis atau keruntuhan. Dari kurva ini, titik leleh, titik kinerja, dan cadangan daktilitas dapat diidentifikasi untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam menyerap energi gempa.

Elemen-elemen struktur dievaluasi berdasarkan terbentuknya sendi plastis, distribusi gaya dalam, serta pola deformasi yang terjadi. Jika sendi plastis terkonsentrasi pada elemen-elemen tertentu sebelum struktur mencapai kapasitas maksimum, hal ini menunjukkan potensi mekanisme kegagalan yang tidak diinginkan. Dengan membandingkan hasil analisis terhadap kriteria kinerja yang ditentukan dalam standar seperti FEMA 356 atau ATC-40, dapat ditentukan

apakah elemen struktur memerlukan perkuatan atau modifikasi untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban gempa.

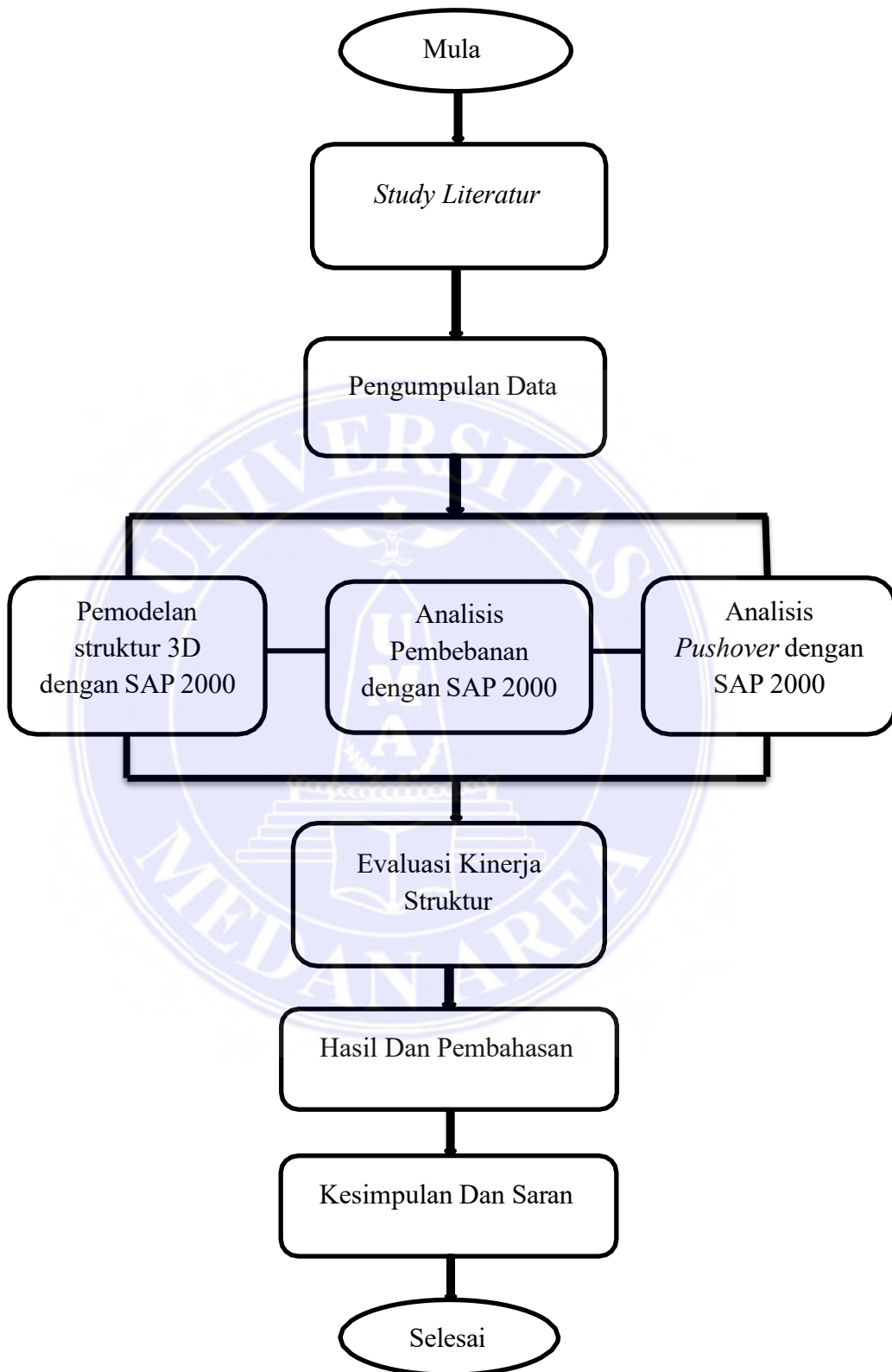
3.5.3 Penilaian Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan Pedoman ATC-40

Pushover berbasis elemen hingga mengacu pada pedoman ATC-40 yang mengklasifikasikan kinerja struktur ke dalam beberapa kategori, seperti *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*. Metode ini melibatkan analisis distribusi gaya dan deformasi pada tiap elemen struktur hingga kondisi plastis tercapai, untuk kemudian menilai kemampuan struktur dalam menghadapi beban lateral gempa. Dalam konteks ATC-40, evaluasi dimulai dengan menentukan titik kinerja struktur yang diperoleh dari interseksi antara kurva kapasitas *pushover* dan spektrum respons gempa.

Untuk menentukan tingkat kinerja ini, dilakukan serangkaian analisis dengan langkah-langkah sistematis. Proses ini dimulai dengan membangun model struktur yang mencerminkan kondisi bangunan sesungguhnya, termasuk material dan elemen struktural yang memiliki perilaku non-linier. Selanjutnya, beban lateral diterapkan secara bertahap untuk mensimulasikan respons struktur terhadap gempa. Dari sini, dihasilkan kurva kapasitas, yang menggambarkan hubungan antara perpindahan puncak bangunan dan gaya geser dasar.

Dengan pendekatan yang terstruktur, ATC-40 memberikan panduan yang komprehensif bagi para penulis dalam mengevaluasi dan meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa. Melalui metode ini, diharapkan setiap bangunan tidak hanya mampu berdiri tegak, tetapi juga memberikan keamanan maksimal bagi penghuninya dalam menghadapi ancaman seismik.

3.6 Kerangka Berfikir



Gambar 37 Diagram alur penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perilaku struktur gedung menunjukkan sifat non-linier. Evaluasi kinerja struktur berdasarkan **ATC-40** menunjukkan bahwa nilai *story drift* yang diperoleh adalah **0.0073** pada arah **X** dan **0.0025** pada arah **Y**, yang masih di bawah batas **1%**, sehingga gedung dikategorikan dalam level *Immediate Occupancy*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian evaluasi kinerja seismik struktur gedung Bertingkat dengan metode *pushover* berbasis elemen hingga menggunakan *software* SAP 2000 didapatkan saran yang bermanfaat bagi penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap perilaku non-linier struktur menggunakan analisis *time history* untuk memahami respons dinamis secara lebih detail.
2. Mengoptimalkan desain dengan mempertimbangkan penggunaan material yang lebih fleksibel guna meningkatkan kapasitas disipasi energi.
3. Mempertimbangkan penggunaan sistem peredam energi untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban gempa berulang.
4. Melakukan pemantauan dan inspeksi berkala untuk memastikan kondisi struktur tetap sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.
5. Meninjau kembali desain struktur dengan mempertimbangkan berbagai variasi beban gempa guna meningkatkan ketahanan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. R. (2023). Analisa Elemen Struktur Balok dan Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Teknologi Sipil*, 29.
- Amsori, R. (2007). Aplikasi structural analysis program (SAP 2000) pada analisis dan desain struktur jembatan beton bertulang. *Skripsi (Sarjana)-- Universitas Negeri Malang*.
- Apriani, W. (n.d.). Pelatihan SAP 2000 Dalam Perencanaan Konstruksi Gedung Beton Bertulang dan Baja Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019.
- BMKG. (2023). Pengetahuan Gempa Bumi. *Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III*, 1.
- BPS. (2023). *Badan Pusat Statistik Kota Medan*. Medan.
- Chairani, E. (2022). Analisa Struktur Balok Beton Pada Pembangunan Rumah Tempat Usaha 6 Lantai. *JURNAL TEKNIK SIPIL (JTSIP)*, 1, 28.
- Naldo, I. F. (2022). Perencanaan Struktur Atas Gedung Hotel Hidayah Padang Panjang. 5.
- Pandeleke, R. E. (2020). Tinjauan Kolom Akibat Perubahan Fungsi Ruangan Dengan Perkuatan Struktur Baja (Menggunakan Program ANSYS). *Jurnal Sipil Statik*, 8, 484.
- Pranata, Y. A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440). *Jurnal Teknik Sipil*, 3.
- Saragi, T. E. (2022). Analisa Perbandingan Pelaksanaan Struktur Pelat Lantai Metode Konvensional, Boundeck dan Precast Slab Ditinjau Dari Segi Waktu dan Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung GBKP Tanah Merah Binjai. *Jurnal Teknik Sipil*, 1, 39.
- Simajuntak, J. O. (2021). Analisis Perbandingan Kolom Persegi Dan Kolom Bulat Dengan. *Jurnal Teknik Sipil*, 1, 11.
- Unggul, U. E. (2023). Bangunan Anti Gempa: Membangun Keamanan di Tengah Ancaman Bencana Alam. *Teknologi Bangunan Anti Gempa*.
- Weli, M. A. (2021). Analisis Penggunaan Pelat Beton Bondek Pada Struktur Lantai Gedung Puskesmas Kota Ende. *Teknosiar*, 29.
- Yunus, A. Y. (2024). *Bencana Alam Dan Manajemen Risiko Bencana*. (M. S. Rustam, Ed.) Makasar: CV. Tohar Media.