

**IDENTIFIKASI LEVEL KINERJA SEISMIK STRUKTUR
RUKO BERTINGKAT CITRALAND SAMPALI MELALUI
METODE PUSHOVER STATIK NONLINIER**

SKRIPSI

OLEH:

**OBER SIMAREMARE
228110015**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/8/26

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

**IDENTIFIKASI LEVEL KINERJA SEISMIK STRUKTUR
RUKO BERTINGKAT CITRALAND SAMPALI MELALUI
METODE PUSHOVER STATIK NONLINIER**

SKRIPSI

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



Oleh:

OBER SIMAREMARE

228110015

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

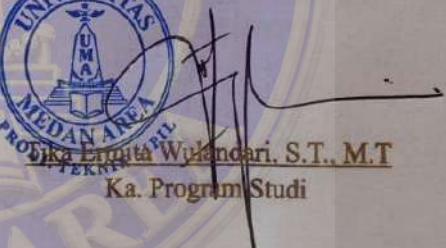
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Identifikasi Level Kinerja Seismik Struktur Ruko Bertingkat
Citraland Sampali Melalui Metode Pushover Statik Nonlinier
Nama : Ober Simaremare
NPM : 228110015
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing


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


Dr. Egi Supriatno, S.T., M.T
Dekan


Eka Lintang Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 10 Maret 2026

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.



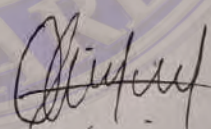
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ober Simaremare
NPM : 228110015
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Identifikasi Level Kinerja Seismik Struktur Ruko Bertingkat Citraland Sampali Melalui Metode Pushover Statik Nonlinier. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif 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 : 10 Maret 2026
Yang menyatakan



(Ober Simaremare)

RIWAYAT HIDUP

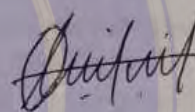
Penulis dilahirkan di Bunturaja Pada tanggal 15 Oktober 2002 dari Ayah Hamriono Simaremare dan Ibu Dahliana Butarbutar Penulis merupakan putra 5 dari 6 bersudara. Tahun 2021 Penulis lulus dari SMK Negeri 1 Balige dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Ruko R5 Citraland Sampali dimana saya di bawah nnaungan PT.Arptank Project Citrasarana yang berkolaborasi dengan Ciputra Grup.



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 : Identifikasi Level Kinerja Seismik Struktur Ruko Bertingkat Citraland Sampali Melalui Metode *Pushover* Statik Nonlinier. 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 22 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



(Ober Simaremare)

2

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah Cincin Api Pasifik yang memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi, sehingga evaluasi kinerja struktur bangunan terhadap pengaruh gempa bumi menjadi aspek penting dalam perencanaan maupun penilaian keamanan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja seismik struktur bangunan Ruko R5 Citraland Sampali dalam menahan beban lateral akibat gempa bumi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statik nonlinier pushover dengan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000 berbasis metode elemen hingga. Analisis dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, serta PUSGEM sedangkan identifikasi level kinerja struktur berdasarkan ATC-40. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa struktur Ruko R5 Citraland Sampali masih berada pada tingkat kinerja Immediate Occupancy (IO). Identifikasi tersebut mengacu pada kriteria yang ditetapkan dalam ATC-40. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai perpindahan (displacement) maksimum pada arah X sebesar 130,68 mm, sedangkan pada arah Y sebesar 566,21 mm. Dengan total tinggi struktur 14,9 m atau 14.900 mm, diperoleh nilai drift ratio sebesar 0,87%. Nilai tersebut memenuhi ketentuan ATC-40, yaitu apabila drift ratio $< 1,0\%$, maka struktur dikategorikan dalam tingkat kinerja Immediate Occupancy (IO). yang menunjukkan bahwa bangunan masih dapat difungsikan setelah mengalami gempa dengan tingkat kerusakan struktural yang relatif kecil. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perilaku struktur bangunan bertingkat terhadap beban gempa serta menjadi referensi dalam evaluasi keamanan dan perencanaan struktur bangunan tahan gempa.

Kata Kunci: Analisis pushover, kinerja seismik, SAP2000, bangunan bertingkat, ATC-40, SNI 1726:2019.

ABSTRACT

Indonesia is a country located in the Pacific Ring of Fire region, which has a high level of seismic activity. Therefore, evaluating the performance of building structures against earthquake effects is an important aspect in both structural planning and building safety assessment. This study aims to identify the seismic performance of the Ruko R5 Citraland Sampali building structure in resisting lateral loads caused by earthquakes. The method used in this study is nonlinear static pushover analysis with structural modeling using SAP2000 based on the finite element method. The analysis was carried out in accordance with SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, and PUSGEM provisions, while the structural performance level identification was based on Applied Technology Council. The identification results indicate that the Ruko R5 Citraland Sampali structure is still within the Immediate Occupancy (IO) performance level. This identification refers to the criteria established in Applied Technology Council. Based on the analysis results, the maximum displacement in the X direction was 130.68 mm, while in the Y direction it reached 566.21 mm. With a total structural height of 14.9 m or 14,900 mm, the drift ratio obtained was 0.87%. This value satisfies the provisions of Applied Technology Council, which state that a drift ratio of less than 1.0% is classified as the Immediate Occupancy (IO) performance level. This indicates that the building can still function after experiencing an earthquake with relatively minor structural damage. This study is expected to provide an overview of the behavior of multistory building structures under earthquake loads and serve as a reference for the evaluation of safety and the planning of earthquake-resistant building structures.

Keywords: *Pushover analysis, seismic performance, SAP2000, multi-storey building, ATC-40, SNI 1726:2019.*

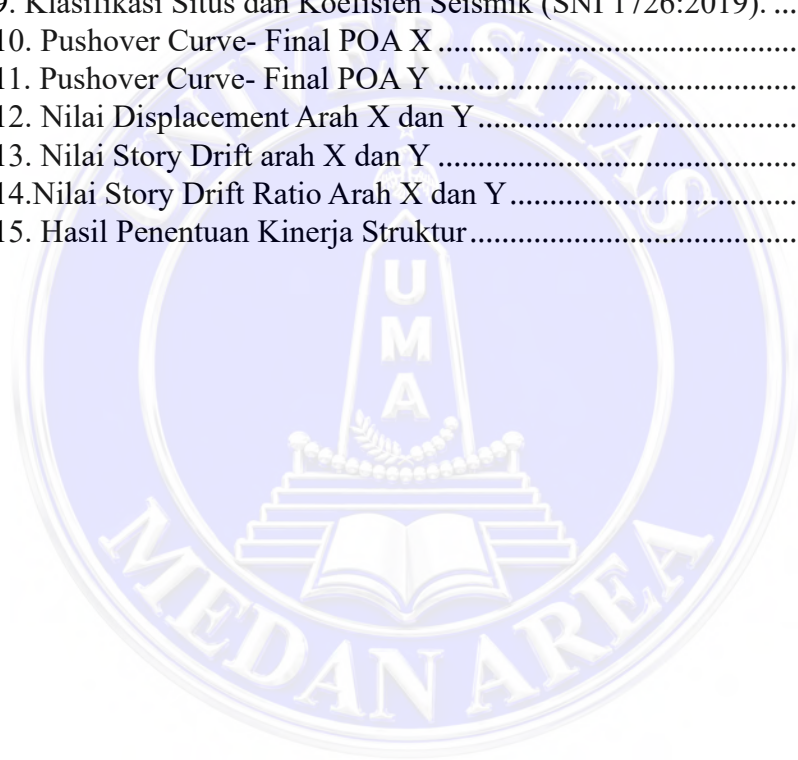
DAFTAR ISI

COVER.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
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.....	7
2.3 Konsep Dasar Evaluasi Kinerja Seismik.....	8
2.3.1 Prinsip Dasar Analisis Pushover.....	13
2.3.2 Parameter Utama Dalam Analisis <i>Pushover</i>	14
2.3.3 Mekanisme Pembentukan SendiPlastis	16
2.4 Perangkat Lunak SAP2000 dalam Analisis Struktur.....	19
2.4.1 Fitur Utama dalam Analisis <i>Pushover</i>	19
2.4.2 Keunggulan dan Keterbatasan Dibandingkan Perangkat Lunak Lain.....	20
2.5 Evaluasi kinerja Seismik Struktur Gedung Bertingkat.....	22
2.5.1 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat.....	24
2.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respons Seismik	25
2.6 Standar dan Pedoman Terkait	26
2.6.1 Pedoman ATC-40 Dalam Evaluasi Kapasitas Struktur.....	26
2.6.2 SNI 1726:2019 Tentang Perencanaan Ketahanan Gempa..	28
2.7 KriteriaKarakteristikBangunan	29
2.7.1 Tingkat Kinerja Bangunan Berdasarkan ATC-40	30
2.7.2 Metode Penilaian Kinerja Berdasarkan Target <i>Displacement</i>	31

2.8 Pembebanan.....	32
2.8.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	33
2.8.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	34
2.8.3 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019.....	35
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	38
3.1 Metode Penelitian.....	38
3.2 Lokasi dan waktu penelitian.....	38
3.3 Alat penelitian.....	39
3.4 Bahan penelitian	39
3.5 Analisis Data.....	40
3.5.1 Proses Pemodelan Ulang dengan Sap2000.....	40
3.6 Metode Analisis Data	45
3.6.1 Simulasi Analisis <i>Pushover</i> dengan SAP2000	45
3.7 Kerangka berfikir	56
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1 Hasil Simulasi Analisis <i>Pushover</i> Menggunakan SAP2000	57
4.1.1 Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>)	58
4.1.2 Perkembangan Pembentukan Sendi Plastis	60
4.1.3 <i>Story Displacement</i>	67
4.1.4 <i>Story Drift</i>	69
4.1.5 <i>Story Drift Ratio</i>	72
4.2 Pembahasan	75
4.2.1 Evaluasi Kapasitas Struktur Berdasarkan <i>pushover curve</i> .	75
4.2.2 Analisis tingkat kinerja struktur berdasarkan ATC-40.....	76
4.2.3 Implikasi hasil penelitian terhadap keamanan struktur ruko 4 lantai	77
4.2.4 Rekomendasi Perbaikan dan penguatan Struktur	78
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	80
 DAFTAR PUSTAKA	xv
 LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu.....	7
Tabel 2. Tingkat Kinerja Seismik (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17).	10
Tabel 3. Hasil Evaluasi Analisis Pushover (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17) .	14
Tabel 4. Parameter Utama dalam Analisis Pushover (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17).....	15
Tabel 5. Jenis dan Karakteristik Sendi Plastis (FEMA 356, ATC-40, ASCE 41-17, SNI 1726:2019).....	17
Tabel 6. Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain (FEMA P-695, 2009)	22
Tabel 7. Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat (FEMA P-1050, 2016)	25
Tabel 8. Parameter Kinerja Struktur (ATC-40)	28
Tabel 9. Klasifikasi Situs dan Koefisien Seismik (SNI 1726:2019).	29
Tabel 10. Pushover Curve- Final POA X	61
Tabel 11. Pushover Curve- Final POA Y	65
Tabel 12. Nilai Displacement Arah X dan Y	68
Tabel 13. Nilai Story Drift arah X dan Y	71
Tabel 14. Nilai Story Drift Ratio Arah X dan Y	74
Tabel 15. Hasil Penentuan Kinerja Struktur	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kurva Kapasitas Struktur (<i>Pushover Curve</i>) FEMA 356	10
Gambar 2. Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis	18
Gambar 3. Diagram Tingkat Kinerja Bangunan (ATC-40, 1996)	31
Gambar 4. Lokasi Penelitian	39
Gambar 5. Membuat Model baru	40
Gambar 6. Membuat <i>grid</i> (SAP2000 V14, 2026)	41
Gambar 7. Data Bahan dan Material Beton	42
Gambar 8. Data Bahan dan Material Ulir	42
Gambar 9. Data Penampang Kolom	43
Gambar 10. Data Penampang balok	43
Gambar 11. Data Penampang Pelat lantai	44
Gambar 12. Data Penampang Pelat Atap	44
Gambar 13. Pemodelan sebelum di Run	45
Gambar 14. Pemodelan sesudah di Run	45
Gambar 15. Input Beban Mati Pelat Lantai	46
Gambar 16. Input Beban Hidup Pelat Lantai	46
Gambar 17. Input Beban Mati Pelat Atap	47
Gambar 18. Input Beban Hidup Pelat Atap	47
Gambar 19. Input <i>Diaphragm</i> pada setiap lantai	48
Gambar 20. Input hinge pada kolom	48
Gambar 21. Select Section Pada Kolom	48
Gambar 22. Input Hinge Pada Kolom	49
Gambar 23. Input Hinge Pada Balok	49
Gambar 24. Select Section Pada Balok	50
Gambar 25. Input Hinge Pada Balok	50
Gambar 26. Define Load Paterns	51
Gambar 27. Input Beban Lateral X	51
Gambar 28. Define Load Paterns	52
Gambar 29. Input Beban Lateral Y	52
Gambar 30. <i>Input Static Nonlinier</i> Initial POA	53
Gambar 31. <i>Input Static Nonlinier</i> Final POA X	53
Gambar 32. <i>Input Static Nonlinier</i> Final POA X	54
Gambar 33. <i>Input Static Nonlinier</i> Final POA Y	55
Gambar 34. Memilih <i>Load Case To Run</i>	55
Gambar 35. Diagram alir penelitian	56
Gambar 36. Kurva Kpasitas (<i>Pushover Curve</i>) Final POA X	59
Gambar 37. Kurva Kapasitas (<i>Pushover Curve</i>) Final POA Y	60
Gambar 38. Grafik <i>Strory Displacement</i> Arah X	69
Gambar 39. Grafik <i>Strory Displacement</i> Arah Y	69
Gambar 40. Grafik <i>Strory Drift</i> Arah X	71
Gambar 41. Grafik <i>Strory Drift</i> Arah Y	72
Gambar 42. Grafik <i>Strory Drift Rasio</i> Arah X	74
Gambar 43. Grafik <i>Strory Drift Rasio</i> Arah Y	74



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada di kawasan Cincin Api Pasifik yang dikenal memiliki aktivitas seismik sangat tinggi (Utomo & Purba, 2019), sehingga ketahanan struktur terhadap gempa menjadi aspek fundamental dalam perencanaan dan evaluasi bangunan (Parabi et al., 2024). Hasil penelitian oleh (Naryanto, 2019) menunjukkan bahwa Indonesia termasuk wilayah dengan risiko gempa bumi tinggi karena terletak pada jalur gempa Circum Pacific Earthquake Belt. Kondisi tersebut berkaitan erat dengan posisi geografis Indonesia yang berada di antara dua samudra besar dan beririsan langsung dengan pertemuan beberapa lempeng tektonik, yang menyebabkan frekuensi gempa bumi cukup sering terjadi.

Gedung administrasi Ruko R5 Citraland merupakan salah satu bangunan yang memerlukan evaluasi menyeluruh terhadap kapasitas struktur atasnya untuk mengukur kemampuan dalam menahan beban lateral akibat gempa. Analisis statik nonlinier pushover menjadi salah satu metode yang banyak digunakan dalam mengevaluasi ketahanan struktur. Teknik ini memungkinkan penilaian terhadap perilaku inelastis struktur melalui penerapan beban lateral secara bertahap hingga mencapai titik leleh atau mengalami keruntuhan (Trumansyahjaya, 2005) menekankan bahwa tingginya potensi gempa di Indonesia menuntut penerapan desain bangunan yang mampu menahan getaran seismik. Tingkat kerentanan terhadap gaya lateral sangat dipengaruhi oleh ketinggian struktur, sehingga perencanaan bangunan bertingkat harus disertai analisis beban gempa untuk mencegah kegagalan struktural dan meminimalkan risiko korban jiwa.

Perkembangan regulasi teknis di Indonesia, seperti yang tertuang dalam SNI 1726:2019, semakin memperkuat urgensi dilakukannya penelitian mengenai kinerja seismik bangunan. Evaluasi struktur menggunakan metode *pushover* memberikan pemahaman menyeluruh mengenai respons bangunan terhadap gempa dan membantu dalam memastikan kepatuhan terhadap ketentuan standar terbaru. Studi yang dilakukan oleh (Dewobroto, 2005) membuktikan bahwa metode *pushover* dapat digunakan untuk menentukan titik kinerja serta tingkat keamanan struktur dengan akurat. Penelitian terhadap gedung administrasi Ruko R5 Citraland Sampali ini ditujukan untuk menghasilkan rekomendasi berbasis analisis struktural guna menunjang peningkatan aspek keselamatan dan kelayakan bangunan dalam jangka panjang.

Kebaruan penelitian terletak pada penerapannya terhadap bangunan gedung bertingkat yang memiliki fungsi berbeda struktur gedung bertingkat lainnya, berbeda dari bangunan bertingkat umum yang sering menjadi rumah tinggal juga tempat investasi. Evaluasi yang dilakukan pada struktur semacam ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam dan kontekstual terhadap perilaku struktur bangunan publik yang unik. Analisis *pushover* berbasis ATC-40 diterapkan untuk menilai kapasitas struktur terhadap gempa secara menyeluruh dalam konteks studi ini.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana perilaku dan respons nonlinier struktur ruko bertingkat citraland sampali terhadap beban gempa serta bagaimana tingkat kinerja seismiknya berdasarkan hasil evaluasi simpangan antar lantai sesuai standar yang berlaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons *nonlinier* struktur Ruko Bertingkat Citraland Sampali terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover* statik *nonlinear*, mengevaluasi kapasitas dan pola terbentuknya sendi plastis, serta menentukan tingkat kinerja seismik bangunan berdasarkan parameter perpindahan dan *rasio* simpangan antar lantai sesuai standar yang berlaku.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini Adalah:

1. Penilaian kinerja seismik struktur dilakukan melalui analisis *pushover* berbasis metode elemen hingga, dengan pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000.
2. Proses analisis mengacu pada ketentuan perencanaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, serta kriteria evaluasi kinerja struktur yang merujuk pada ASCE 41-17 dan ATC-40.
3. Evaluasi kinerja struktur ditentukan berdasarkan parameter respons struktur, meliputi kurva kapasitas, simpangan antar lantai (*story drift*), *rasio story drift*, perpindahan (*displacement*), serta pembentukan sendi plastis pada elemen struktur.
4. Jenis pembebanan yang ditinjau terbatas pada beban gempa statik *nonlinier* dengan pola distribusi gaya lateral yang disesuaikan dengan ketentuan regulasi seismik yang berlaku.
5. Penetapan tingkat kinerja bangunan dilakukan berdasarkan nilai maksimum *story drift* untuk mengklasifikasikan kondisi 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 mengenai respons *nonlinier* struktur gedung bertingkat terhadap beban gempa melalui analisis *pushover* berbasis elemen hingga.
2. Menilai ketahanan bangunan terhadap gempa berdasarkan parameter *story drift ratio*, *displacement*, dan pembentukan sendi plastis.
3. Menjadi referensi dalam perencanaan dan evaluasi desain bangunan bertingkat agar lebih tahan terhadap gempa.
4. Berkontribusi pada pengembangan evaluasi seismik melalui perbandingan hasil analisis dengan standar ASCE 41-17, ATC-40, dan SNI 1726:2019.
5. Menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait perkuatan struktur dan pengembangan model analisis elemen hingga.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu merupakan langkah penting dalam memperkuat landasan teoretis studi yang sedang dilakukan. Kajian ini memberikan informasi mengenai pendekatan metodologis yang telah diterapkan, hasil yang telah dicapai, serta ruang lingkup yang masih memerlukan eksplorasi lanjutan dalam bidang terkait.

Studi oleh (Aulia et al., 2022) berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Pemodelan Struktur (3D) Berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (*Pushover Analysis*) mengevaluasi kinerja struktur Gedung Hotel Jatiwangi di Majalengka dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 2021. Kurva kapasitas menunjukkan titik kinerja pada arah gempa-X tercapai pada perpindahan sebesar 0,131 meter dengan gaya geser 3.321,385 ton, sedangkan pada arah gempaY terjadi pada perpindahan 0,121 meter dengan gaya geser 3.102,548 ton.

Penelitian yang dilakukan oleh (Syahira & Jamal, 2023) dengan judul Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Statik Nonlinear Beban Dorong (*Pushover*) mengaplikasikan metode *pushover* sesuai dengan pedoman ATC-40. Studi ini menunjukkan bahwa metode analisis statik nonlinear berperan penting dalam menilai kapasitas struktur terhadap beban lateral. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa struktur memenuhi kapasitas yang dibutuhkan meskipun beberapa sendi plastis terbentuk lebih awal. Perkuatan direkomendasikan pada elemen-elemen struktur yang dianggap kritis untuk mencegah keruntuhan progresif.

Evaluasi terhadap Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro dilakukan oleh (Kurniawati et al., 2021) dalam studi berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static Pushover Analysis*. Hasil menunjukkan bahwa struktur tersebut memenuhi persyaratan kinerja berdasarkan SNI 1726:2019 dan dikategorikan dalam tingkat kinerja *Life Safety*. Perkuatan pada elemen balok dan kolom tertentu disarankan guna meningkatkan kapasitas tahanan terhadap gempa.

Analisis *pushover* juga diterapkan oleh (Kadarusman et al., 2017) dalam kajian berjudul *Kajian Analisis Pushover untuk Performance-Based Design* pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono. Hasil studi mengindikasikan bahwa struktur memiliki ketahanan terhadap gempa, namun teridentifikasi terbentuknya sendi plastis dini pada beberapa kolom. Rekomendasi teknis berupa desain perkuatan diberikan untuk titik-titik kritis sebagai upaya peningkatan kinerja struktur dalam menghadapi gempa besar.

Evaluasi struktur stadion dilakukan oleh (Fathoni dan Desimaliana, 2024) dalam penelitian berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Tribun Barat Stadion RAA Adiwijaya Kabupaten Garut dengan Analisis Pushover Metode ATC-40*. Hasil analisis memperlihatkan bahwa struktur memenuhi batas kinerja *Immediate Occupancy* untuk gempa ringan serta tetap berdiri saat mengalami plastisitas akibat gempa kuat. Perkuatan tambahan pada kolom direkomendasikan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa besar.

Penelitian yang dilakukan oleh (M. Nasution et al., 2024) mengevaluasi struktur gedung bertingkat di Jakarta menggunakan analisis *pushover* berdasarkan pedoman *Basic Performance Objective for Existing Buildings (BPOE)*. Simulasi

dilakukan dengan SAP2000 berdasarkan pembebanan BSE-1E dan BSE-2E sesuai standar ASCE 41-17. Hasil evaluasi memperlihatkan bahwa struktur mampu menahan gaya gempa dengan nilai simpangan antar tingkat yang masih berada di bawah batas izin yang diperkenankan.

Penelitian oleh (Dewi, 2020) melakukan evaluasi struktur gedung menggunakan metode pushover berdasarkan pedoman ATC-40. Simulasi dilakukan dengan pendekatan analisis statik *nonlinier* melalui perangkat lunak SAP2000 sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku. Struktur dinyatakan memenuhi kriteria kinerja yang ditetapkan dalam ATC-40 dengan nilai perpindahan dan simpangan relatif antar lantai yang masih berada dalam batas aman.

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 Penelitian	Perbedaan
1	Irfan & Setiawan (2023)	Evaluasi Kinerja Gedung A Universitas Pembangunan Jaya dengan Pushover Analysis	Penelitian sebelumnya meneliti Gedung Tower A Universitas Pembangunan Jaya setinggi 8 lantai, sedangkan penelitian ini meneliti Ruko R5 Citraland Sampali yang terdiri dari 4 lantai.
2	Adhitama et al. (2022)	Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur ASCE 41-17	Penelitian sebelumnya menggunakan objek eksisting 5 lantai, sedangkan penelitian ini menggunakan objek Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai.

3	M. Nasution et al. (2024)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan Pushover Analysis	Penelitian sebelumnya menggunakan objek gedung kantor 5 lantai, sedangkan Penelitian ini menggunakan objek Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai
4	Dewi (2020)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Metode <i>Pushover Analysis</i> sesuai Pedoman ATC-40	Penelitian sebelumnya meneliti gedung sekolah 5 lantai, sedangkan penelitian ini meneliti Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai.
5	Oktopianto & Andayai (2013)	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Penelitian sebelumnya meneliti <i>Quest Hotel</i> setinggi 10 lantai, sedangkan penelitian ini meneliti Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai.
6	Asmara et al. (2021)	Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis <i>Pushover</i>	Penelitian sebelumnya meneliti <i>The Venetian Tower</i> setinggi 116,7 m, sedangkan penelitian ini meneliti Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai.
7	Syahira & Jamal (2023)	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 sebelumnya meneliti gedung perkantoran 4 lantai, namun berbeda lokasi dan fungsi. Penelitian ini fokus pada Ruko R5 Citraland Sampali 4 lantai.

2.3 Konsep Dasar Evaluasi Kinerja Seismik

Evaluasi kinerja seismik merupakan proses analitis yang bertujuan menilai kapasitas struktur dalam menghadapi beban akibat aktivitas *seismic* (Muchlian & Deva Ramadhan, 2025). Tujuan utama dari proses ini meliputi upaya perlindungan terhadap keselamatan penghuni, pengurangan potensi kerusakan struktural, dan peningkatan ketahanan bangunan terhadap guncangan gempa bumi. Pendekatan yang digunakan dalam evaluasi ini berbasis pada kinerja struktur dan mengacu pada

ketentuan dalam FEMA P58-6 (2018) melalui perbandingan respons struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gempa.

Metode analisis yang digunakan dalam evaluasi kinerja seismik dikelompokkan menjadi dua pendekatan utama, yaitu pendekatan linier dan pendekatan nonlinier. Pendekatan linier mencakup analisis respons spektrum serta gaya lateral statik ekuivalen yang digunakan untuk memprediksi respons awal struktur. Pendekatan nonlinier, seperti analisis pushover dan riwayat waktu, diterapkan untuk memperoleh pemahaman mendalam terhadap perilaku plastis struktur serta mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi (ATC-40, 1996).

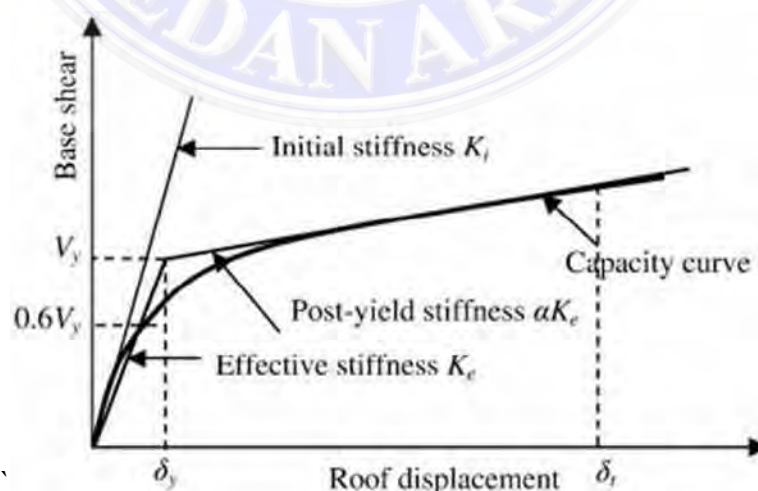
Beberapa parameter penting yang menjadi fokus penilaian mencakup gaya geser dasar (base shear), perpindahan atap (roof displacement), serta distribusi dan lokasi sendi plastis pada elemen struktur. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada standar internasional seperti ASCE 41-17 dan FEMA 440 guna memperoleh hasil yang mendekati kondisi aktual bangunan.

Penilaian tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan besaran kerusakan yang masih dapat diterima terhadap intensitas gempa tertentu. Evaluasi ini menjadi landasan penting dalam merencanakan strategi perkuatan maupun keputusan teknis untuk retrofit bangunan eksisting agar memenuhi persyaratan keselamatan. Tabel 2 menyajikan kategori tingkat kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356. Pemahaman terhadap kategori ini membantu insinyur dalam menentukan sejauh mana kerusakan dapat ditoleransi. Dengan demikian, tindakan perbaikan dapat diarahkan secara tepat guna menjaga fungsi dan keselamatan bangunan. Gambar 1 memperlihatkan kurva kapasitas struktur yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap. Kurva ini juga digunakan untuk menilai

batas kapasitas struktur dalam menahan beban gempa hingga mencapai kondisi kinerjanya.

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

Tingkat Kinerja Seismik (ATC-40, FEMA 356, ASCE 41-17).	Deskripsi	Kondisi Struktur
Operasional (OP)	Bangunan tetap berfungsi dengan sedikit atau tanpa kerusakan.	Tidak terdapat kerusakan yang signifikan.
Batas Huni (IO – <i>Immediate Occupancy</i>)	Struktur mengalami kerusakan ringan namun masih dapat dihuni dan digunakan.	Kerusakan ringan pada elemen non-struktural.
Keselamatan Jiwa (LS – <i>Life Safety</i>)	Struktur mengalami kerusakan signifikan tetapi tidak mengalami keruntuhan.	Kerusakan sedang pada elemen struktural.
Pencegahan Keruntuhan (CP – <i>Collapse Prevention</i>)	Struktur hampir mengalami keruntuhan tetapi masih dapat berdiri.	Kerusakan berat pada elemen struktural.
Runtuh (C – <i>Collapse</i>)	Struktur mengalami kegagalan total dan runtuh secara menyeluruh.	Tidak mampu menahan beban tambahan.



Gambar 1. Kurva Kapasitas Struktur (Pushover Curve) FEMA 356

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).

$$K_i = \frac{V_y}{\delta_y} \quad (1)$$

Dengan:

K_i = 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), sehingga mencerminkan kondisi perilaku struktur yang lebih realistis pada saat mengalami pembebanan nonlinier.

$$K_e = \frac{0.6 V_y}{\delta_y} \quad (2)$$

Dengan:

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 (αK_e)

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

$$K_{post} = \alpha K_e \quad (3)$$

Dengan:

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

α = 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).

$$K_{post} = \alpha K_e \quad (4)$$

Dengan:

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).

$$V = V_y + K_{post}(\delta - \delta_y), \text{ Untuk } \delta > \delta_y \quad (5)$$

Dengan :

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 salah satu metode evaluasi struktural yang digunakan untuk mengkaji respons bangunan terhadap beban gempa. Metode ini tergolong dalam kategori analisis statik *nonlinier*, dengan pendekatan pemberian beban lateral secara bertahap hingga struktur mencapai kondisi kegagalan.

Pemodelan struktur dalam analisis ini dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik *nonlinier* dari elemen-elemen penyusunnya, seperti balok, kolom, dan sambungan. Penambahan beban lateral menyebabkan beberapa elemen struktur melewati batas elastisnya, sehingga terbentuk sendi plastis. Sendi plastis ini digunakan sebagai indikator utama dalam mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi mengalami kegagalan.

Selama proses analisis, interaksi antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*) digambarkan melalui kurva kapasitas. Kurva ini merepresentasikan kemampuan struktur dalam menyerap energi gempa serta memberikan gambaran tingkat kerusakan yang mungkin timbul.

Hasil analisis *pushover* dibandingkan dengan kriteria kinerja struktural yang tercantum dalam standar seismik seperti FEMA 356 dan ATC-40. Penilaian ini menentukan apakah struktur masih dalam kategori aman, memerlukan perbaikan, atau harus dilakukan perkuatan tambahan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa. Analisis *pushover* berfungsi sebagai alat penting dalam proses perancangan serta rehabilitasi bangunan tahan gempa. Penilaian hasil

analisis ini umumnya dilakukan berdasarkan parameter-parameter utama sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.

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

Parameter	Definisi	Fungsi dalam Evaluasi
Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	Gaya geser maksimum yang dapat ditahan oleh struktur sebelum mengalami keruntuhan.	Menentukan kapasitas lateral struktur terhadap beban gempa.
Perpindahan Atap (<i>Roof Displacement</i>)	Perpindahan lateral maksimum yang terjadi pada puncak bangunan.	Menunjukkan tingkat deformasi atau simpangan struktur.
Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan gempa berdasarkan analisis.	Digunakan untuk menilai apakah struktur memenuhi kriteria kinerja yang diharapkan.
Pembentukan Sendi Plastis (<i>Hinge Formation</i>)	Titik pada elemen struktur di mana terjadi plastifikasi akibat beban lateral.	Menggambarkan pola kerusakan dan mekanisme 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. 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 dapat diterima bangunan sebelum mencapai kondisi batas.	Menunjukkan kapasitas lateral struktur terhadap beban gempa.
Perpindahan Atap	Perpindahan lateral maksimum pada puncak bangunan akibat pengaruh beban gempa.	Menentukan tingkat deformasi dan stabilitas keseluruhan struktur.
Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>)	Titik keseimbangan antara kapasitas struktur dan permintaan seismik.	Digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi kriteria kinerja seismik.
Sendi Plastis	Titik pada elemen struktur yang mengalami plastifikasi akibat beban lateral.	Menunjukkan pola serta urutan kerusakan dan kegagalan elemen struktur.
Faktor Daktilitas	<i>Rasio</i> antara perpindahan maksimum dan perpindahan saat leleh struktur.	Mengukur kemampuan struktur dalam mengalami deformasi plastis sebelum kegagalan.

Kekakuan Struktur	Hubungan antara besar gaya dan perpindahan yang terjadi pada struktur.	Menunjukkan ketahanan struktur terhadap deformasi lateral akibat beban gempa.
-------------------	--	---

2.3.3 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Pembentukan sendi plastis pada struktur terjadi saat elemen-elemen seperti balok dan kolom mengalami tegangan yang melebihi batas elastis akibat peningkatan beban lateral. Respon awal struktur terhadap beban masih bersifat elastis, di mana deformasi yang terjadi dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Peningkatan beban lebih lanjut menyebabkan sebagian elemen mencapai batas leleh material yang mengakibatkan terjadinya deformasi permanen, dikenal sebagai plastisitas.

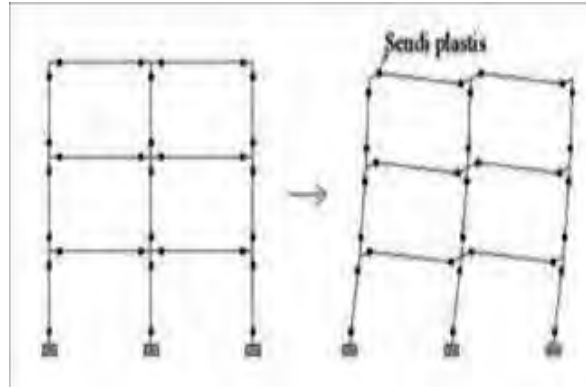
Kondisi plastis mengakibatkan terjadinya rotasi pada bagian tertentu dari elemen struktur tanpa peningkatan signifikan dalam kapasitas beban. Fenomena ini menghasilkan sendi plastis yang berfungsi sebagai titik disipasi energi, memungkinkan struktur menyerap dan mendistribusikan beban gempa secara lebih efisien. Sendi plastis umumnya terbentuk terlebih dahulu pada ujung balok, lalu meluas ke bagian kolom sesuai dengan konfigurasi dan kekakuan sistem struktur yang ada. Pembentukan sendi plastis dalam jumlah besar hingga melibatkan elemen-elemen utama dapat mengarah pada terjadinya keruntuhan global struktur.

Analisis pushover menggunakan pembentukan sendi plastis sebagai parameter kunci dalam mengevaluasi tingkat keamanan struktur. Informasi mengenai pola pembentukan dan persebaran sendi plastis memberikan dasar penting dalam merancang atau memperkuat struktur agar memiliki kapasitas deformasi yang memadai dan mampu bertahan terhadap gaya gempa tanpa

mengalami kerusakan yang fatal. Tabel 5 menyajikan klasifikasi sendi plastis berdasarkan jenis elemen struktur yang mengalami pelelehan. Gambar 2 memperlihatkan mekanisme pembentukan sendi plastis secara visual.

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 mendisipasi energi gempa.
Sendi Plastis pada Kolom	Kolom	Terjadi di dasar kolom atau pada sambungan balok-kolom akibat kombinasi gaya aksial dan momen.	Jika berlebihan, dapat menyebabkan keruntuhan struktur secara keseluruhan.
Sendi Plastis pada Sambungan BalokKolom	Sambungan	Terjadi pada pertemuan antara balok dan kolom akibat gaya geser yang tinggi.	Dapat menyebabkan kegagalan mendadak jika tidak dirancang dengan penguatan yang memadai.
Sendi Plastis pada Dinding Geser	Dinding geser	Terjadi pada dasar dinding akibat kombinasi antara momen dan gaya geser.	Mengurangi kapasitas struktur dalam menahan beban lateral secara efektif.



Gambar 2. Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Dari Gambar 2 persamaan yang dapat diperoleh:

1. Gaya Geser di Setiap Tingkat

Gaya geser di setiap tingkat dapat dihitung dengan berdasarkan Persamaan

(6): n

$$V_i = \sum_{j=i}^n F_j \quad (6)$$

di mana F_j adalah gaya lateral pada tingkat ke- j

2. Distribusi Gaya Lateral

Distribusi gaya lateral biasanya mengikuti pola tertentu, seperti Persamaan

(7):

$$F_i = C \cdot m_i \cdot z_i \quad (7)$$

Dengan:

C = Faktor Seismik

m_i = Masa Lantai ke- i

z_i = Tinggi Lantai ke- i

3. Perpindahan Lateral Maximum (Δ)

Perpindahan lateral total akibat deformasi struktur oleh gaya gempa dapat dihitung menggunakan metode distribusi gaya statik ekuivalen atau analisis

modal, khususnya untuk sistem sederhana seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (8).

$$\Delta = \frac{VH^3}{3EI} \quad (8)$$

Dengan:

H = Tinggi total struktur

E = Modulus elastisitas material

I = Momen inersia elemen struktur

2.4 Perangkat Lunak SAP 2000 dalam Analisis Struktur

Perangkat lunak SAP2000 merupakan program komputer yang digunakan untuk melakukan analisis dan perancangan struktur dua dimensi serta tiga dimensi. Aplikasi ini telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai proyek, baik berskala kecil maupun besar, serta proyek-proyek pada tingkat nasional hingga internasional.

SAP2000 memungkinkan pengguna memodelkan struktur, menganalisis, merancang, dan menampilkan hasil secara interaktif melalui antarmuka visual, serta menghitung gaya-gaya internal pada elemen struktur akibat beban yang dikenakan pada elemen tersebut.

2.4.1 Fitur Utama dalam Analisis *Pushover*

Analisis pushover memiliki sejumlah fitur penting yang menjadikannya alat esensial dalam evaluasi ketahanan struktur terhadap beban gempa. Kurva kapasitas merupakan salah satu fitur utama yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan perpindahan atap (*roof displacement*). Kurva tersebut memberikan gambaran mengenai kapasitas maksimum struktur dalam menahan beban lateral sebelum mengalami keruntuhan.

Sendi plastis menjadi fitur signifikan lainnya karena menunjukkan lokasi pelelehan plastis pada elemen struktural akibat peningkatan beban lateral. Pemetaan sebaran sendi plastis memungkinkan identifikasi bagian-bagian struktur yang rentan terhadap kerusakan serta membantu menentukan langkah perkuatan yang tepat. Evaluasi tingkat kinerja struktur juga merupakan komponen penting dalam analisis pushover. Berdasarkan pedoman seperti FEMA 356 dan ATC-40, tingkat kinerja struktur diklasifikasikan menjadi *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP). Informasi ini digunakan untuk menilai apakah struktur masih layak huni pascagempa atau memerlukan perbaikan.

Distribusi beban lateral juga menjadi aspek yang berpengaruh dalam analisis ini, dengan pola distribusi dapat berupa segitiga, merata, maupun adaptif, tergantung pada karakteristik dinamis struktur yang dianalisis. Pola distribusi beban menentukan respons struktur terhadap gaya gempa yang bekerja.

Analisis pushover secara keseluruhan memberikan gambaran menyeluruh mengenai kapasitas struktur, memprediksi mekanisme kegagalan, serta menjadi dasar dalam penyusunan strategi perkuatan guna meningkatkan ketahanan terhadap beban 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 *nonlinear*, 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 cenderung memiliki waktu komputasi yang relatif lebih lama apabila digunakan untuk analisis elemen hingga dengan tingkat pemodelan dan detail yang sangat tinggi, terutama bila dibandingkan dengan perangkat lunak lain seperti MIDAS atau ANSYS yang dirancang untuk analisis numerik skala besar. Selain itu, SAP2000 memiliki keterbatasan dalam hal kustomisasi dan fleksibilitas penyajian output laporan, di mana format hasil analisis yang dihasilkan relatif standar dan kurang mudah disesuaikan dengan kebutuhan pelaporan teknis tertentu. Kondisi ini berbeda dengan perangkat lunak seperti STAAD.Pro yang menawarkan kemudahan integrasi dengan berbagai format

laporan serta pengolahan data hasil analisis secara lebih fleksibel. Perbandingan karakteristik dan kemampuan SAP2000 dengan perangkat lunak analisis struktur lainnya disajikan secara ringkas pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan SAP 2000 dengan Perangkat Lunak Lain (FEMA P-695, 2009)

Metode Analisis	Keunggulan	Keterbatasan
SAP2000	Memiliki fleksibilitas tinggi dalam analisis berbagai jenis struktur umum.	Kurang optimal untuk analisis struktur gedung bertingkat tinggi secara khusus.
ETABS	Sangat ideal untuk analisis dan perancangan gedung bertingkat.	Kurang fleksibel untuk jenis struktur non-gedung atau bentuk tidak konvensional.
STAAD.Pro	Mudah diintegrasikan dengan laporan teknis dan mendukung berbagai standar internasional.	Kompleks dalam pemodelan struktur nonlinier dan memerlukan keahlian khusus.

2.5 Evaluasi kinerja Seismik Struktur Gedung Bertingkat

Evaluasi kapasitas struktur gedung bertingkat merupakan tahapan penting untuk memastikan kemampuan bangunan dalam menahan berbagai jenis beban, seperti beban gravitasi, lateral (angin dan gempa), serta beban lainnya, melalui sejumlah langkah dan aspek teknis yang harus diperhatikan:

1. Pengumpulan Data

Kumpulkan data terkait desain, material, dan kondisi bangunan, mencakup gambar arsitektur dan struktural, spesifikasi bahan, serta dokumentasi pelaksanaan konstruksi.

2. Pemodelan Struktur

Setelah mengumpulkan informasi mengenai desain, material, dan kondisi bangunan termasuk gambar arsitektur, gambar struktural, spesifikasi

material, serta catatan konstruksi tahap selanjutnya adalah membuat model struktur gedung menggunakan perangkat lunak analisis seperti SAP2000 untuk merepresentasikan elemen-elemen struktural seperti balok, kolom, dan dinding.

3. Analisis Beban

Tentukan beban yang bekerja pada struktur, termasuk:

- a. beban gravitasi seperti berat sendiri, beban hidup, dan beban mati.
- b. Beban lateral dianalisis berdasarkan beban angin dan beban gempa dengan mengacu pada ketentuan standar yang berlaku.

4. Analisis Struktur

- a. Lakukan analisis statik dan dinamik pada model guna mengetahui respons struktur terhadap beban yang bekerja.
- b. Gunakan metode analisis yang tepat, seperti analisis pushover atau respons dinamis, sesuai dengan karakteristik struktur yang dianalisis.

Evaluasi Kinerja

Bandingkan hasil analisis dengan kapasitas material dan elemen struktur.

Evaluasi kinerja berdasarkan kriteria yang ditetapkan, seperti:

- a. Kriteria deformasi: batasan defleksi yang diperbolehkan.
- b. Kriteria kekuatan: memastikan bahwa gaya internal tidak melebihi kapasitas material.

5. Pemeriksaan Kegagalan

Identifikasi kemungkinan titik kegagalan dalam struktur dan lakukan analisis lebih lanjut untuk elemen-elemen yang berisiko.

a. *Retrofit* dan Perbaikan (jika diperlukan)

Apabila kapasitas struktur tidak mencukupi, maka perlu dirancang solusi. *retrofit* seperti penambahan elemen, penguatan material, atau perubahan geometri untuk meningkatkan kinerjanya.

b. Pelaporan Hasil

Susunlah laporan yang mencakup rangkuman hasil analisis beserta rekomendasi perbaikan bila diperlukan, serta dokumentasikan seluruh data dan temuan secara lengkap.

2.5.1 Karakteristik Struktur Gedung Bertingkat

Dalam perencanaan struktur gedung bertingkat, kinerja seismik menjadi 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 dan efektivitas sistem penahan gempa yang diterapkan. Dengan demikian, metode *pushover* berbasis elemen hingga menjadi alat yang sangat berguna dalam meningkatkan desain dan kekuatan gedung bertingkat agar lebih tangguh menghadapi gempa bumi. 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 Respons 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 ketidakaturan 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 *nonlinear* 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)

Dalam ATC-40, pendekatan utama yang digunakan adalah *Capacity Spectrum Method* (CSM), yang mengubah kurva kapasitas struktur menjadi spektrum kapasitas untuk dibandingkan dengan respons spektral gempa. Evaluasi kapasitas struktur dengan metode spektrum kapasitas memungkinkan pemodelan yang lebih akurat terhadap perilaku *nonlinear* sistem struktur saat mengalami perpindahan lateral akibat gempa. Proses ini dilakukan dengan membandingkan kurva kapasitas struktur dengan spektrum permintaan gempa untuk menentukan titik kinerja bangunan.

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 parameter kinerja struktur.

Tabel 8. Parameter Kinerja Struktur (ATC-40)

Level Kinerja	Batas <i>Drift Inter-Story</i> (%)
<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	≤ 1.0
<i>Life Safety</i> (LS)	1.0 - 2.0
<i>Collapse Prevention</i> (CP)	2.0 - 4.0

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 Momen *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

2.7 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 4117, 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

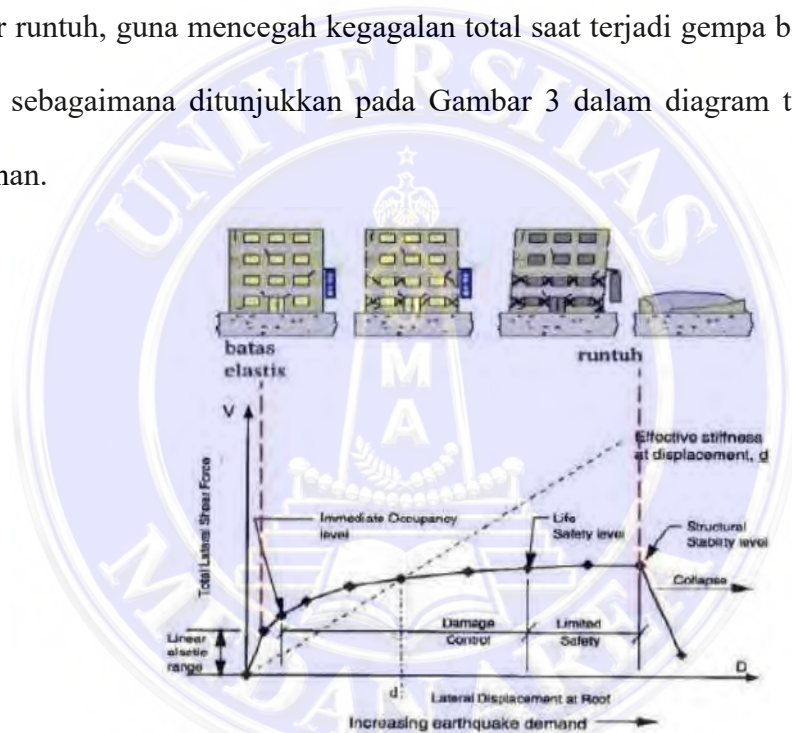
Menurut pedoman ATC-40 (1996), tingkat kinerja bangunan ditentukan berdasarkan batas deformasi serta kondisi elemen struktural dan non-struktural pasca gempa, yang digunakan untuk menilai ketahanan struktur terhadap kerusakan, dengan kategori utama meliputi *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

Tingkat *Immediate Occupancy* (IO) ditujukan untuk bangunan dengan fungsi vital, seperti rumah sakit dan fasilitas darurat, yang setelah gempa tetap dapat digunakan karena hanya mengalami kerusakan struktural ringan atau tidak sama sekali, serta memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk menghadapi gempa berikutnya (ATC-40, 1996).

Tingkat *Life Safety* (LS) mengizinkan terjadinya kerusakan struktural yang cukup besar selama stabilitas bangunan tetap terjaga untuk memungkinkan evakuasi penghuni, dengan struktur yang masih mampu mengalami deformasi plastis tanpa

menyebabkan keruntuhan total (ATC-40, 1996). Pada level ini, kerusakan non-struktural mungkin terjadi dalam jumlah signifikan, tetapi tidak sampai membahayakan nyawa. Bangunan dianggap tidak dapat digunakan kembali tanpa perbaikan setelah gempa. Kriteria ini umum diterapkan pada bangunan komersial dan hunian yang tidak memiliki fungsi vital pascabencana.

4 Tingkat *Collapse Prevention* (CP) menggambarkan kondisi minimum di mana bangunan masih mampu berdiri meskipun mengalami kerusakan parah dan hampir runtuh, guna mencegah kegagalan total saat terjadi gempa besar (ATC-40, 1996), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dalam 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* mengevaluasi respons nonlinier bangunan terhadap gempa dengan memperhitungkan perpindahan maksimum pada puncak struktur, yang menurut FEMA 440 (2005) lebih mencerminkan perilaku plastis bangunan secara realistis dibandingkan pendekatan berbasis gaya.

Metode *Displacement Coefficient Method* (DCM) yang dikembangkan dalam FEMA 440 digunakan untuk memperkirakan perpindahan target secara lebih akurat dengan mempertimbangkan kekakuan efektif, redaman ekivalen, serta ketidakpastian respons seismik, sehingga menghasilkan evaluasi deformasi struktur yang lebih realistis dengan memasukkan efek redaman dan plastisitas (FEMA 440, 2005).

Metode Capacity Spectrum (CSM) yang diperkenalkan dalam ATC-40, selain DCM, digunakan dengan membandingkan kurva kapasitas struktur terhadap spektrum permintaan seismik guna menemukan titik keseimbangan atau target *displacement*, sehingga memungkinkan visualisasi interaksi antara kapasitas struktur dan beban gempa untuk menentukan tingkat kinerja yang diharapkan (ATC-40, 1996).

Metode berbasis target displacement memberikan evaluasi yang lebih akurat dan realistis terhadap respons seismik bangunan saat gempa, sehingga hasil analisis dapat diandalkan sebagai dasar perencanaan *retrofit* dan mitigasi risiko guna meningkatkan ketahanan struktur.

2.8 Pembebanan

Pembebanan merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan. Beban-beban yang bekerja pada struktur akan memengaruhi kekuatan, kestabilan, dan keamanan suatu bangunan. Oleh karena itu, identifikasi dan perhitungan beban yang tepat sangat diperlukan untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang bekerja selama masa layan bangunan. Secara umum, pembebanan pada struktur dibagi menjadi beberapa kategori utama, antara lain beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban lainnya sesuai dengan kondisi lingkungan serta fungsi bangunan.

2.8.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati struktur mencakup elemen-elemen seperti pelat lantai, balok, kolom, dinding, serta lapisan plesteran yang menyumbang berat permanen pada bangunan.

1. Pelat Lantai

Beban mati akibat pelat lantai dihitung berdasarkan tebal pelat dan berat jenis materialnya, sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan (9):

$$q_{\{pelat\}} = t \times \gamma \quad (9)$$

2. Balok

Balok memiliki beban mati yang dihitung berdasarkan luas penampangnya dikalikan dengan berat jenis material, sebagaimana diperlihatkan dalam Persamaan (10):

$$q_{\{balok\}} = (b \times h) \times \gamma \quad (10)$$

3. Kolom

Beban mati pada kolom dihitung dengan cara serupa seperti pada balok, yang dapat dinyatakan dengan Persamaan (11):

$$q_{\{kolom\}} = (b \times h) \times \gamma \quad (11)$$

4. Dinding Bata

Beban mati akibat dinding bata bergantung pada ketebalan dinding dan berat jenis materialnya. Perhitungan ini dapat dinyatakan dalam Persamaan (12):

$$q_{\{dinding\}} = (t \times l) \times \gamma \quad (12)$$

5. Plasteran

Plesteran menambah beban pada dinding, baik di sisi dalam maupun luar. Oleh karena itu, total beban akibat plesteran dihitung dengan mengalikan ketebalan plesteran dengan dua kali luas dinding, sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan (13):

$$q_{\{plasteran\}} = (t \times l \times 2) \times \gamma \quad (13)$$

2.8.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup pada bangunan merupakan beban yang bersifat tidak tetap dan berubah-ubah sesuai dengan aktivitas serta fungsi ruang yang digunakan. Besarnya beban hidup ditetapkan berdasarkan ketentuan standar perencanaan struktur, yaitu SNI 1727:2020, guna menjamin keselamatan dan keandalan bangunan.

Perhitungan beban hidup umumnya dihitung per satuan luas lantai dan dapat dinyatakan dengan Persamaan (14):

$$q_{hidup} = w \quad (14)$$

Di mana q_{hidup} adalah beban hidup lantai (kN/m^2) dan w adalah nilai beban hidup sesuai standar (kN/m^2).

Sebagai contoh, berdasarkan standar:

1. Ruang hunian memiliki nilai beban hidup sebesar 2.0 kN/m^2 .
2. Kantor memiliki rentang beban hidup antara $2.5 - 4.0 \text{ kN/m}^2$.
3. Koridor publik dapat memiliki beban hidup sebesar $4.0 - 5.0 \text{ kN/m}^2$.
4. Ruang kelas memiliki nilai beban hidup sebesar 3.0 kN/m^2 .
5. Teras atap memiliki nilai beban hidup sebesar 1.5 kN/m^2 .

2.8.3 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

1. Kriteria Perancangan

Parameter percepatan batuan dasar mencakup percepatan pada periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1), yang nilainya ditentukan melalui peta sumber serta bahaya gempa sesuai dengan Persamaan 15 dan 16.

$$S_s = 0.6g \quad (15)$$

$$S_1 = 0.3g \quad (16)$$

2. Koefisien Situs

Koefisien situs terdiri dari faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi periode 1 detik (F_v). Nilai ini disesuaikan dengan kondisi tanah keras (SC) berdasarkan perhitungan berikut (Persamaan 17 dan Persamaan 18).

$$F_a = 1.20g \quad (17)$$

$$F_v = 1.40g \quad (18)$$

3. Parameter Respons Spektrum Desain

Parameter respon spektrum terdiri dari percepatan spektrum pada periode pendek (SM_s) dan periode 1 detik (SM_1). Perhitungannya dilakukan dengan menggunakan Persamaan 19 dan Persamaan 20.

$$SM_s = F_a \times S_s \quad (19)$$

$$SM_1 = F_v \times S_1 \quad (20)$$

Selanjutnya, percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1) dihitung menggunakan Persamaan 21 dan Persamaan 22.

$$SDS = \frac{2}{3} SM_s \quad (21)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} SM_1 \quad (22)$$

4. Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik (KDS) ditentukan berdasarkan faktor keutamaan gempa dan kategori risiko bangunan. Sistem struktur yang digunakan adalah rangka beton pemikul momen khusus dengan koefisien modifikasi respon (R) sebesar 8.

5. Membuat Spektrum Respons Desain

Untuk menentukan spektrum respon desain, terlebih dahulu dihitung nilai T_o dan T_s dengan Persamaan 23 dan Persamaan 24

$$T_o = 0.2 \frac{SDI}{SDS} \quad (23)$$

$$T_s = \frac{SDI}{SDS} \quad (24)$$

Selanjutnya, percepatan spektrum (S_a) dihitung berdasarkan tiga kondisi sebagai berikut:

- Untuk , $T < T_o$, dihitung menggunakan Persamaan 25.
- Untuk, $T_o \leq T \leq T_s$, nilai S_a sama dengan SDS (Persamaan 26).
- Untuk, $T_s < T \leq T_L$, dihitung menggunakan Persamaan 27
- Untuk, $T \geq T_L$, dihitung menggunakan Persamaan 28

$$S_a = SDS \times (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_o}) \quad (25)$$

$$S_a = SDS \quad (26)$$

$$S_a = \frac{SDI}{T} \quad (27)$$

$$S_a = \frac{SDI \times T_L}{T^2} \quad (28)$$

6. Menghitung Waktu Getar Alami Struktur

Waktu getar alami struktur (T) dihitung berdasarkan tinggi total bangunan dengan menggunakan koefisien struktur sesuai dengan Persamaan 29.

$$T_a = C_t \times h^x \quad (29)$$

Jika nilai T_c dari analisis perangkat lunak lebih besar dari nilai T_{max} yang dihitung dengan Persamaan 30, maka T yang digunakan adalah T_{max} .

$$T_{max} = C_u \times T_a \quad (30)$$

7. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar ditentukan dengan mencari nilai koefisien respon seismik (C_s) terlebih dahulu. C_s dihitung dengan tiga syarat berbeda dan dipilih nilai terbesar di antara Persamaan 31, 32, dan 33.

$$C_s = \frac{SDS}{R/I} \quad (31)$$

$$C_{s_{max}} = \frac{SDI}{T \times (R/I)} \quad (32)$$

$$C_{s_{min}} = 0.044 \times SDS \times I \quad (33)$$

Setelah itu, gaya geser dasar (V) dihitung dengan menggunakan Persamaan

$$V = C_s \times W_t \quad (34)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menilai kinerja seismik struktur ruko bertingkat dengan menggunakan metode pushover statik *nonlinier* berbasis elemen hingga. Pendekatan kuantitatif ditempuh melalui analisis data numerik dan perhitungan matematis guna menggambarkan respons struktur terhadap beban gempa. Pemodelan dan simulasi struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis seperti SAP2000 atau ETABS untuk memperoleh parameter teknis, seperti gaya dalam, simpangan, serta kapasitas struktur. Hasil simulasi tersebut selanjutnya dibandingkan dengan standar perencanaan gempa, seperti SNI 1726:2019, untuk memastikan kesesuaian struktur terhadap kriteria keselamatan yang berlaku.

Di sisi lain, pendekatan analitis dilakukan dengan menganalisis perilaku struktur terhadap pembebanan lateral bertahap melalui metode *pushover*, yang mengacu pada pendekatan berbasis kapasitas untuk menilai hubungan antara gaya dan perpindahan. Evaluasi ini memungkinkan penentuan tingkat kerusakan dan deformasi maksimum yang dapat ditahan struktur sebelum mengalami kegagalan, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam level kinerja seperti *Immediate*

Occupancy, *Life Safety*, atau *Collapse Prevention*, merujuk pada pedoman FEMA 356 dan ATC-40.

3.2 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan Pembangunan Ruko R5 Citraland Sampali, Jalan Kesuma, Deli Serdang, Kota Medan, Provinsi Sumatra Utara sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.

Gambar 4. Lokasi Penelitian (*Google Earth*, 2025)

3.3 Alat penelitian

Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak SAP2000 untuk memodelkan struktur dan melakukan analisis *pushover* dalam rangka menilai kinerja seismik bangunan. Proses pengolahan data dan analisis hasil simulasi dilakukan menggunakan Microsoft Excel, sementara AutoCAD digunakan untuk menyusun gambar teknis agar representasi visual struktur menjadi lebih jelas. Adapun perangkat keras seperti komputer atau laptop digunakan sebagai sarana menjalankan seluruh perangkat lunak serta pengelolaan data penelitian.

3.4 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data geometri bangunan, karakteristik material struktur, jenis beban yang bekerja, serta acuan standar dan regulasi yang digunakan dalam proses perencanaan dan analisis. Informasi geometri bangunan mencakup ukuran dimensi, jumlah lantai, dan konfigurasi elemen struktural yang dijadikan dasar dalam pemodelan. Data material mencakup parameter seperti kuat tekan beton, kuat tarik baja, modulus elastisitas, serta sifat elastis dan plastis material yang digunakan. Sementara itu, data pembebanan mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa, yang semuanya dihitung berdasarkan ketentuan standar perencanaan yang berlaku.

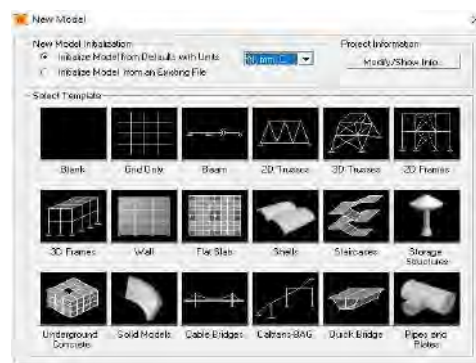
Analisis struktur dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada standar dan regulasi yang berlaku. SNI 1726:2019 digunakan sebagai pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung maupun non-gedung, sedangkan SNI 2847:2019 digunakan sebagai acuan dalam menetapkan ketentuan beton struktural. Selain itu, pedoman ATC-40 dijadikan referensi dalam pelaksanaan analisis *pushover* dan penilaian kinerja seismik struktur.

3.5 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan penting dalam proses evaluasi struktur, khususnya untuk mengetahui respons dan tingkat kinerja bangunan terhadap bebanbeban yang bekerja. Pada tahap ini, dilakukan interpretasi data teknis yang telah dikumpulkan, termasuk dimensi elemen struktur, jenis material, serta jenis pembebanan. Untuk mendukung analisis secara lebih akurat dan efisien, digunakan perangkat lunak bantu seperti SAP2000 yang memungkinkan pemodelan struktur secara numerik. Pemodelan ulang dilakukan agar struktur dapat dianalisis sesuai dengan kondisi aktualnya, serta untuk menilai kemampuan struktur dalam menahan gaya-gaya luar berdasarkan pendekatan perhitungan berbasis metode elemen hingga.

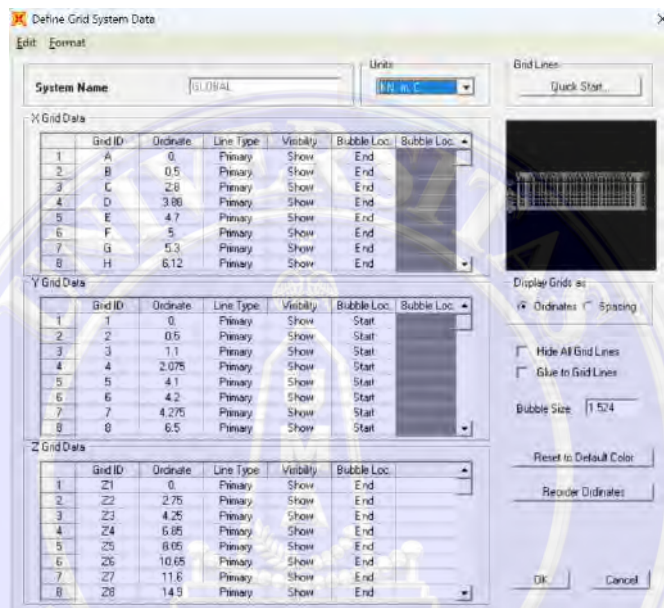
3.5.1 Proses Pemodelan Ulang dengan Sap2000

1. Buka *software* SAP 2000 yang sudah terinstal
2. Memulai membuat model baru, diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Membuat Model baru (SAP2000 V14, 2026)

- a. Klik *grid only*
- b. Ubah Satuan Menjadi N,mm.,C
- c. Masukkan nilai x,y dan z pada *number of grid lines*. *Number of grid lines* menunjukkan jumlah *joint* sb. X, sedangkan merupakan jarak angkut
- d. Kemudian klik OK, Sehingga munculah *Grid* yang diinginkan di perlihatkan pada gambar 6.

Gambar 6. Membuat *grid* (SAP2000 V14, 2026)

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) = 21 MPa
 - c. Isikan mutu baja (f_y) = ulir 420 MPa
 - d. Isikan MoE = $4700\sqrt{f'_c}$ MPa
 - e. Isikan MoE baja = 200.000 MPa Kemudian Klik OK, di perlihatkan pada gambar 7.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' set to 'Mutu Beton' with a red color swatch, 'Material Type' set to 'Concrete', and a 'Material Notes' field. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' as 2.4E-05 and 'Mass per Unit Volume' as 2.4E-05, with units set to 'N, mm, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (10999.182), 'Poisson's Ratio, ν ' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, α ' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (4230.0699). The 'Other Properties for Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c ' (21) and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. At the bottom, there is a 'Switch To Advanced Property Display' checkbox and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 7. Data Bahan dan Material Beton (SAP2000 V14, 2026)

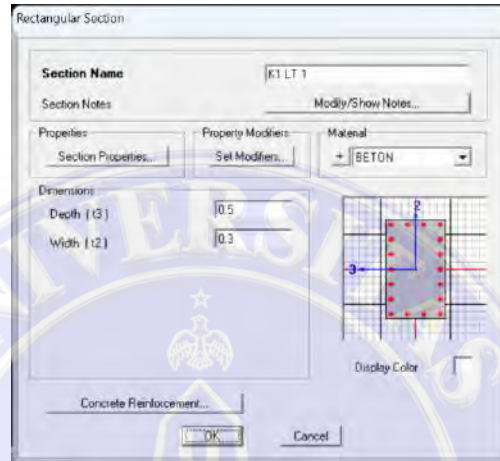
4. Membuat Data Bahan / Material f_y Ulir

- Klik menu *define* – material lalu *add new* material kemudian Jenis material *Rebar*
- Isikan Mutu Baja (f_y) = ulir 420 MPa
- Isikan MoE baja = 200.000 MPa kemudian klik OK, diperlihatkan pada gambar 8.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a rebar material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' set to 'TULANGAN ULIR' with a blue color swatch, 'Material Type' set to 'Rebar', and a 'Material Notes' field. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' as 7.850E-05 and 'Mass per Unit Volume' as 7.850E-05, with units set to 'N, mm, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (200000), 'Poisson's Ratio, ν ' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, α ' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (76923.08). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, f_y ' (420), 'Minimum Tensile Stress, f_u ' (413.6855), 'Expected Yield Stress, f_{ye} ' (303.3693), and 'Expected Tensile Stress, f_{ue} ' (455.054). At the bottom, there is a 'Switch To Advanced Property Display' checkbox and 'OK' and 'Cancel' buttons.

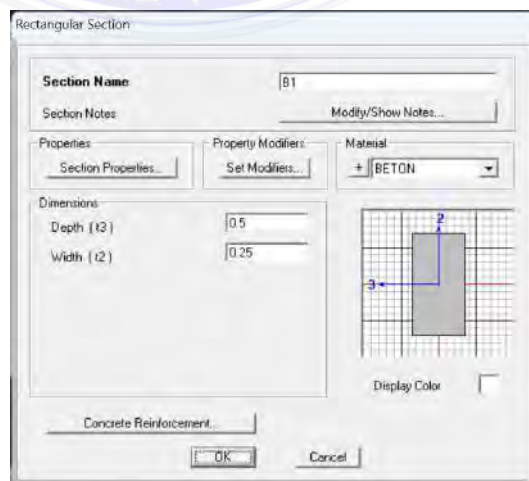
Gambar 8. Data Bahan dan Material Ulir (SAP2000 V14, 2026)

5. Membuat data penampang kolom
 - a. Klik *define – section properties* kemudian *frame sections*
 - b. Klik *add new property* pilih *type concrete* klik *rectangular* lalu isikan dimesi lebar dan panjang kolom sesuai kebutuhan kemudian klik OK, diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Data Penampang Kolom (SAP2000 V14, 2026)

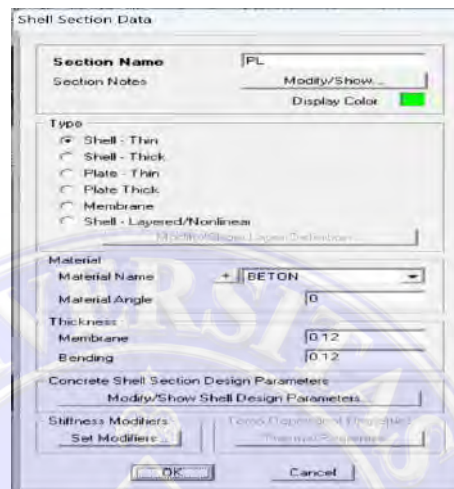
6. Membuat Data Penampang Balok
 - a. Klik *define – section properties* kemudian *frame sections*
 - b. Klik *add new property* pilih *type concrete* klik *rectangular* lalu isikan dimesi lebar dan panjang balok sesuai kebutuhan kemudian klik OK, diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. Data Penampang balok (SAP2000 V14, 2026)

7. Membuat data penampang Pelat Lantai

- a. Klik *define – section properties* kemudian *area sections*
- b. Klik *add new section* lalu isikan tebal pelat lantai sesuai kebutuhan kemudian klik OK, diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 11. Data Penampang Pelat lantai (SAP2000 V14, 2026)

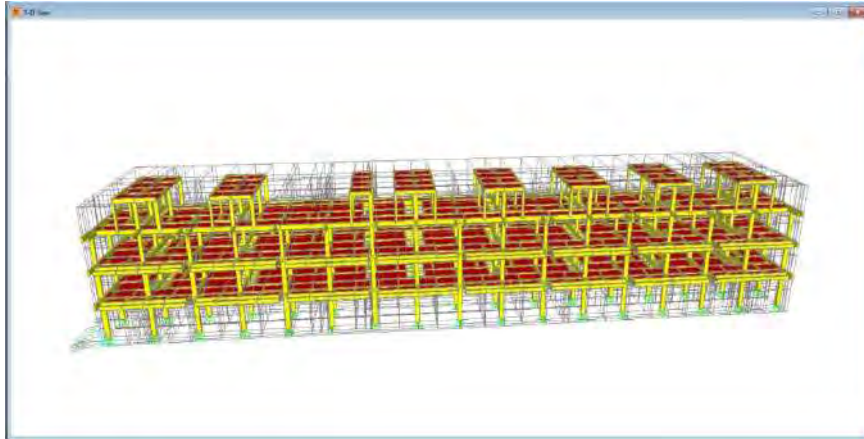
8. Membuat data penampang Pelat Atap

- a. Klik *define – section properties* kemudian *area sections*
- b. Klik *add new section* lalu isikan tebal pelat atap sesuai kebutuhan kemudian klik OK, diperlihatkan pada gambar 12.



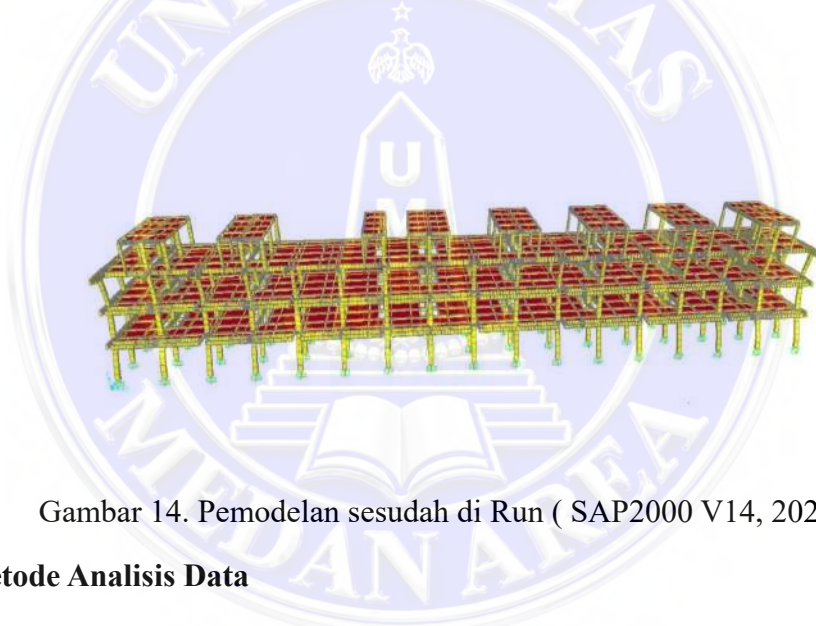
Gambar 12. Data Penampang Pelat Atap (SAP2000 V14, 2026)

9. Pemodelan Sebelum di Run



Gambar 13. Pemodelan sebelum di Run (SAP2000 V14, 2026)

10. Pemodelan Sesudah di Run



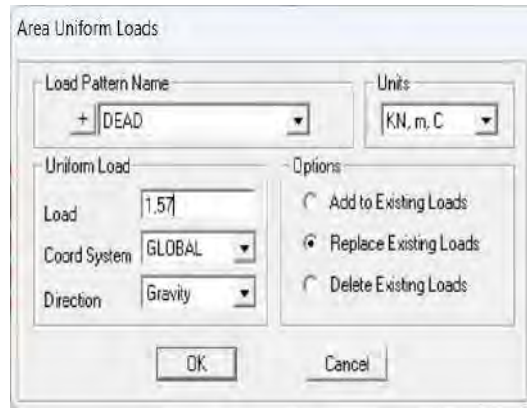
Gambar 14. Pemodelan sesudah di Run (SAP2000 V14, 2026)

3.6 Metode Analisis Data

3.6.1 Simulasi Analisis *Pushover* dengan SAP2000

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 di perlihatkan pada gambar 15.

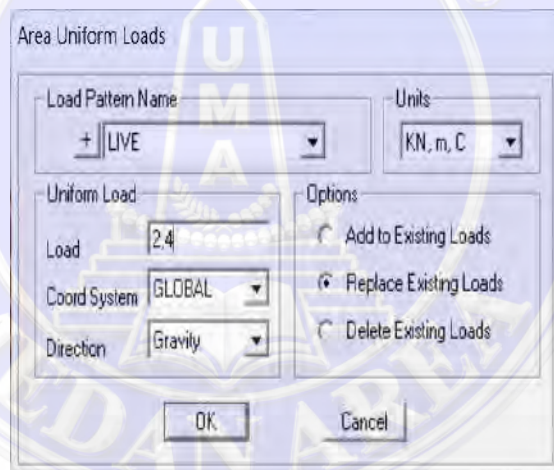


Gambar 15. Input Beban Mati Pelat Lantai (SAP2000 V14, 2026)

2. Menentukan Beban Hidup Pelat Lantai

- a. *Select* objek pada pelat lantai, Klik *assign* pilih *frame loads* lalu *distribute*

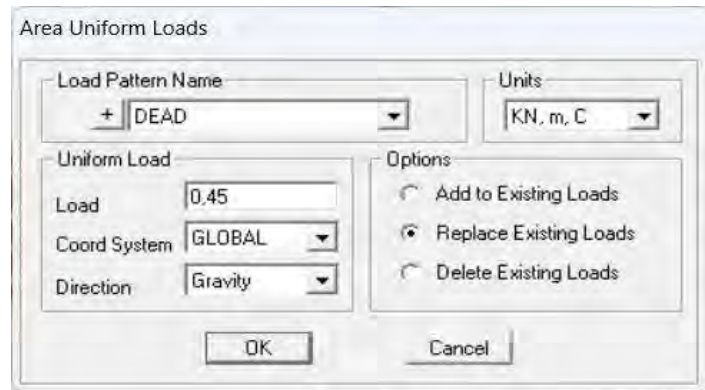
Setelah itu masukan beban hidup pelat lantai di *menu uniform load* dan klik OK di perhatikan pada gambar 16.



Gambar 16. Input Beban Hidup Pelat Lantai (SAP2000 V14, 2026)

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 di perhatikan pada gambar 17.



Gambar 17. Input Beban Mati Pelat Atap (SAP2000 V14, 2026)

4. Menentukan Beban Hidup Pelat Atap

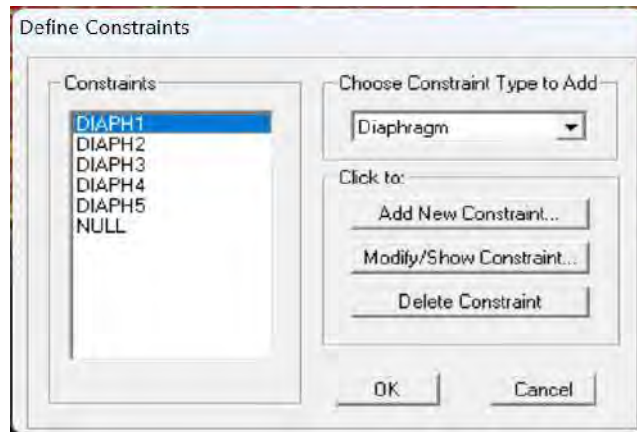
- a. *Select* objek pada pelat atap
- b. Klik *assign* pilih *frame loads* lalu *distributed*. Setelah itu masukan beban hidup pelat atap di *menu uniform load* dan klik OK di perhatikan pada gambar 18.



Gambar 18. Input Beban Hidup Pelat Atap (SAP2000 V14, 2026)

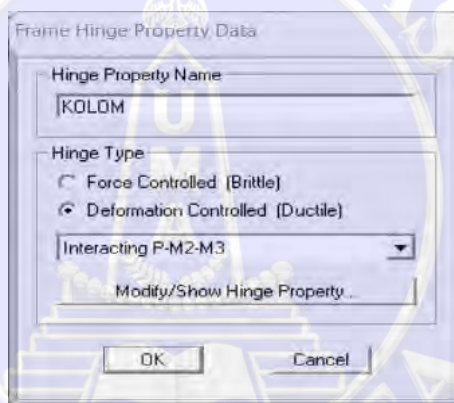
5. Menentukan Diaphragm pada setiap lantai

- a. *Select* objek pada lantai
- b. Klik *assign* lalu *join* kemudian *constraints*. Setelah itu klik *define join constraints* setelah itu pilih *diaphragma* dan klik OK di perhatikan pada gambar 19.



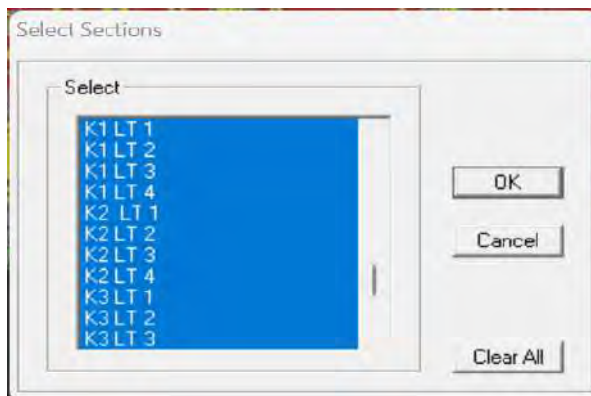
Gambar 19. Input *Diaphragma* pada setiap lantai (SAP2000 V14, 2026)

6. Menentukan *hinge* pada kolom
 - a. Klik *define* lalu *section properties* kemudian *hinge properties*
 - b. Klik add no 21.



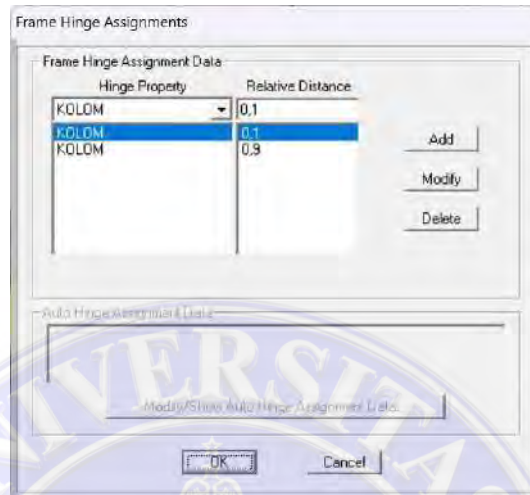
Gambar 20. Input *hinge* pada kolom (SAP2000 V14, 2026)

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



Gambar 21. *Select Section* Pada Kolom (SAP 2000 V14, 2026)

- e. Klik *Assign* kemudian *hinges*
- f. Lalu pilih kolom kemudian masukan jarak relatif dan klik OK
diperlihatkan pada gambar 22.



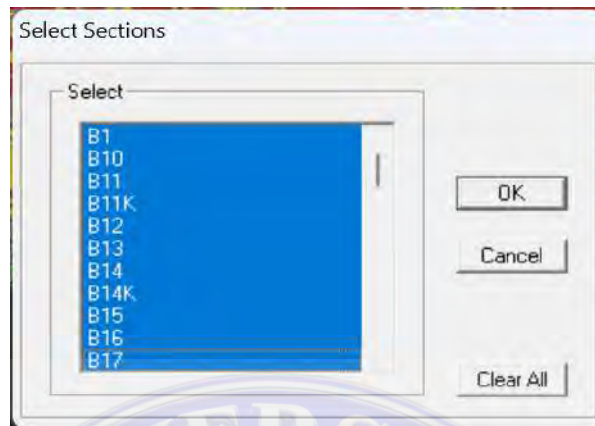
Gambar 22. *Input Hinge* Pada Kolom (SAP 2000 V14, 2026)

7. Menentukan *hinge* pada balok Menentukan *hinge* pada kolom
 - a. Klik *define* lalu *section properties* kemudian *hinge properties*
 - b. Klik *add new property* lalu pilih *concrete* dan klik OK diperlihatkan pada gambar 23.



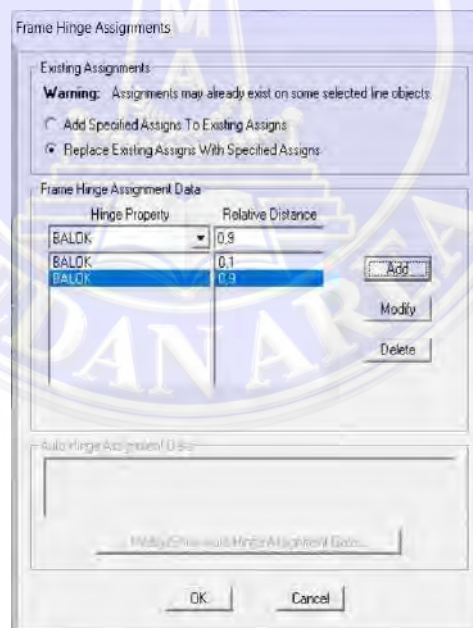
Gambar 23. *Input Hinge* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2026)

- c. Klik *Select* lalu *properties* kemudian *frame sections*
- d. *Select* semua Balok dan klik OK diperlihatkan pada gambar 24.



Gambar 24. *Select Section* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2026)

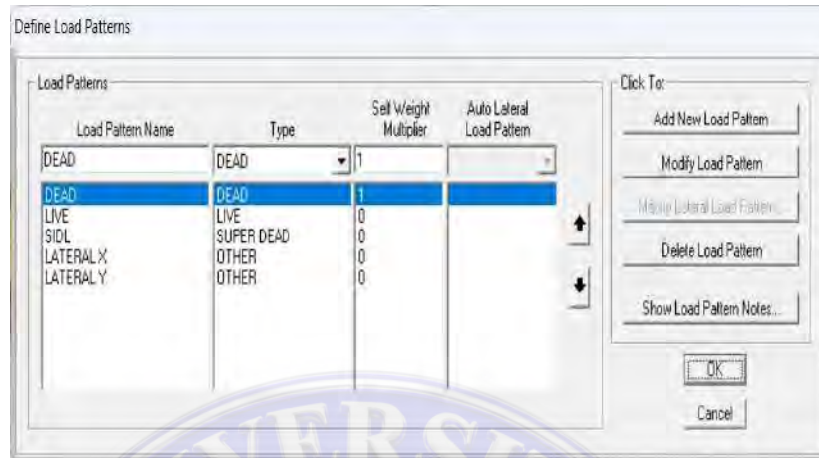
- e. Klik *Assign* kemudian *hinges*
- f. Lalu pilih Balok kemudian masukan jarak relatif dan klik OK diperlihatkan pada gambar 25.



Gambar 25. *Input Hinge* Pada Balok (SAP 2000 V14, 2026)

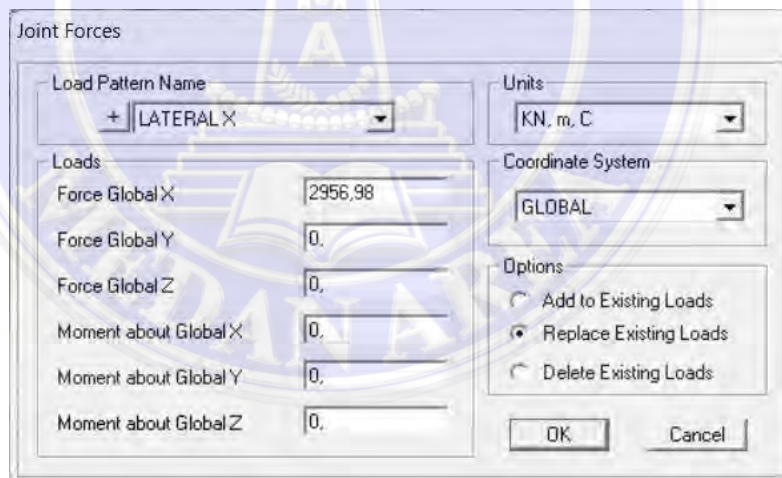
8. Menentukan Beban Lateral X
- a. Klik *define* Kemudian *load patterns*

- b. Klik *add new load patterns* lalu klik *name lateral load x* diperlihatkan pada gambar 26.



Gambar 26. Define Load Patterns (SAP 2000 V14, 2026)

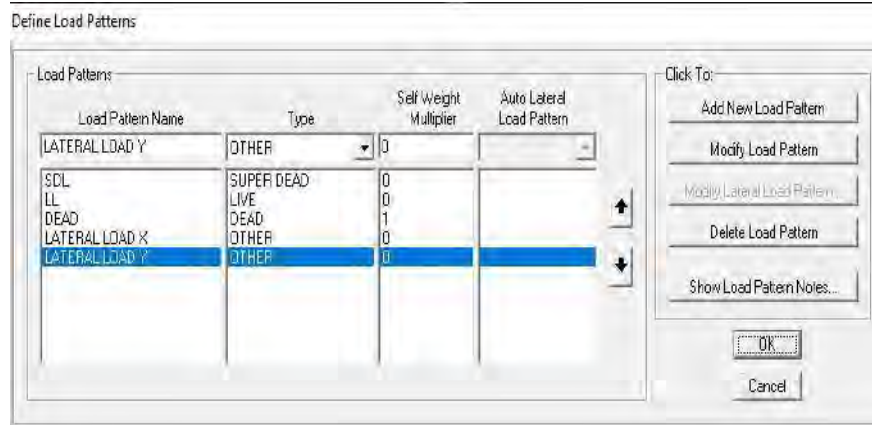
- c. *Select* beban arah sumbu x
- d. Klik *assign* lalu klik *joint loads* kemudian pilih *forces* dan masukan beban ke arah sumbu x setelah itu klik OK diperlihatkan pada gambar 27.



Gambar 27. Input Beban Lateral X (SAP 2000 V14, 2026)

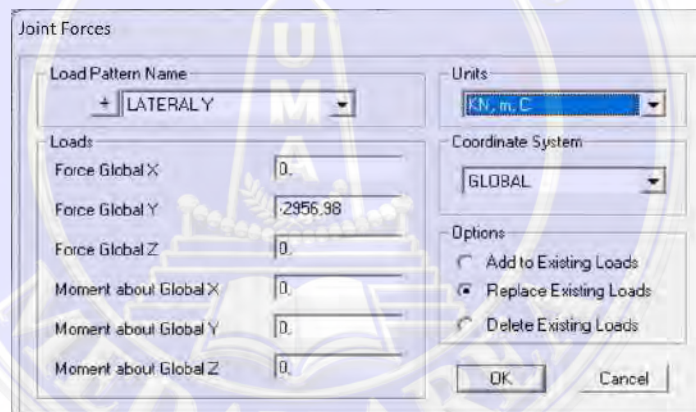
9. Menentukan Beban Lateral Y

- a. Klik *define* Kemudian *load patterns*
- b. Klik *add new load patterns* lalu klik *name lateral load x* diperlihatkan pada gambar 28.



Gambar 28. Define Load Patterns (SAP 2000 V14, 2026)

- 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 diperlihatkan pada gambar 29.

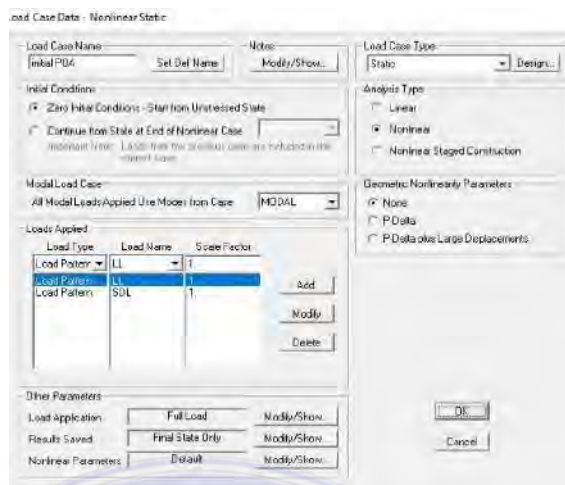


Gambar 29. Input Beban Lateral Y (SAP 2000 V14, 2026)

10. Menentukan Gravity Non Linier 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 *nonlinier* dan pada *option geometric* *nonlinier parameters* pilih *P-delta*. Lalu isikan data *loads applied* di

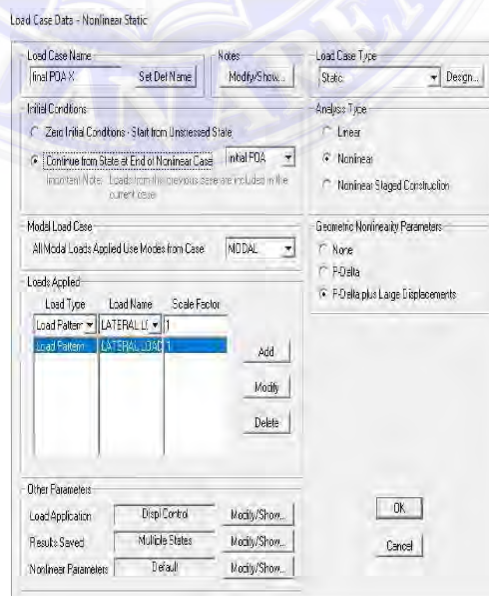
diperlihatkan pada gambar 30.



Gambar 30. *Input Static Nonlinier Initial POA*(SAP 2000 V14, 2026)

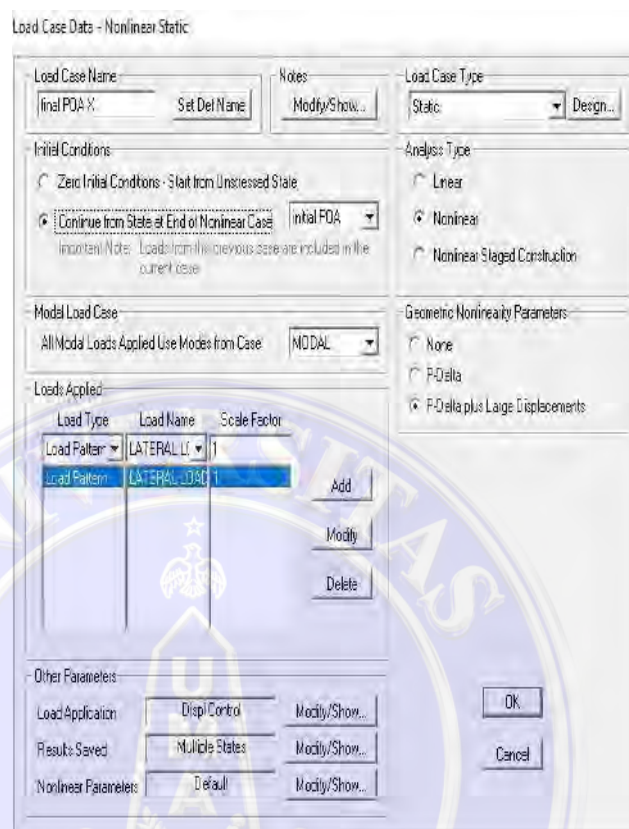
11. Menentukan *Non Linier Pushover Case*

- Klik *define-load cases-add new load cases*. Isikan *load cases name* = *Final POA X*
- Pada *option initial conditions* pilih *continuu from state at end of nonlinear case*, dan pilih *initial POA*
- Pada *option load type* pilih *Load Pattern* , *load name* pilih *lateral load x* dan *input scale factor* = 1 diperlihatkan pada gambar 31.



Gambar 31. *Input Static Nonlinier Final POA X* (SAP 2000 V14, 2026)

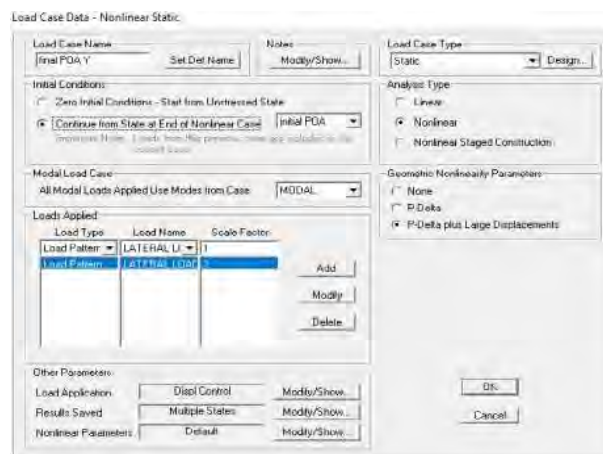
- d. Pada *option load type* pilih *Load Pattern* , *load name* pilih *lateral load x* dan *input scale factor* = 1 diperlihatkan pada gambar 31.



Gambar 32. *Input Static Nonlinier Final POA X* (SAP 2000 V14, 2026)

12. Menentukan *Non Linier Pushover Case*

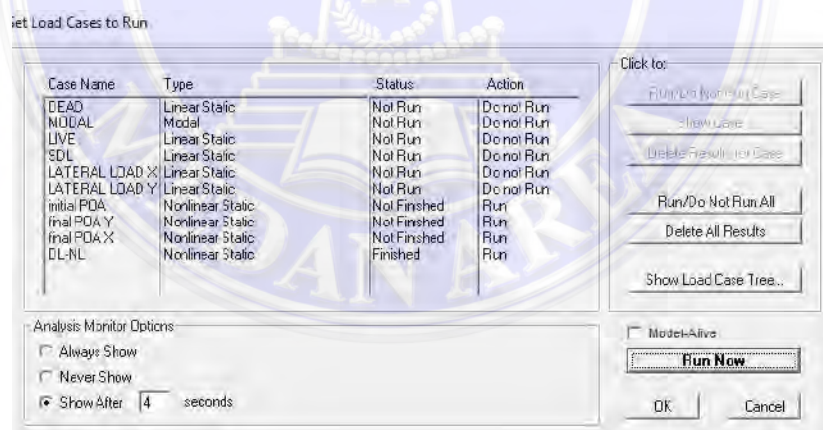
- Klik *define-load cases-add new load cases*. Isikan *load cases name* = *Final POA Y*
- Pada *option initial conditions* pilih *continuu from state at end of nonlinear case*, dan pilih *initial POA*
- Pada *option load type* pilih *Load Pattern* , *load name* pilih *lateral load x* dan *input scale factor* = 1 diperlihatkan pada gambar 32.



Gambar 33. *Input Static Nonlinier Final POA Y (SAP 2000 V14, 2026)*

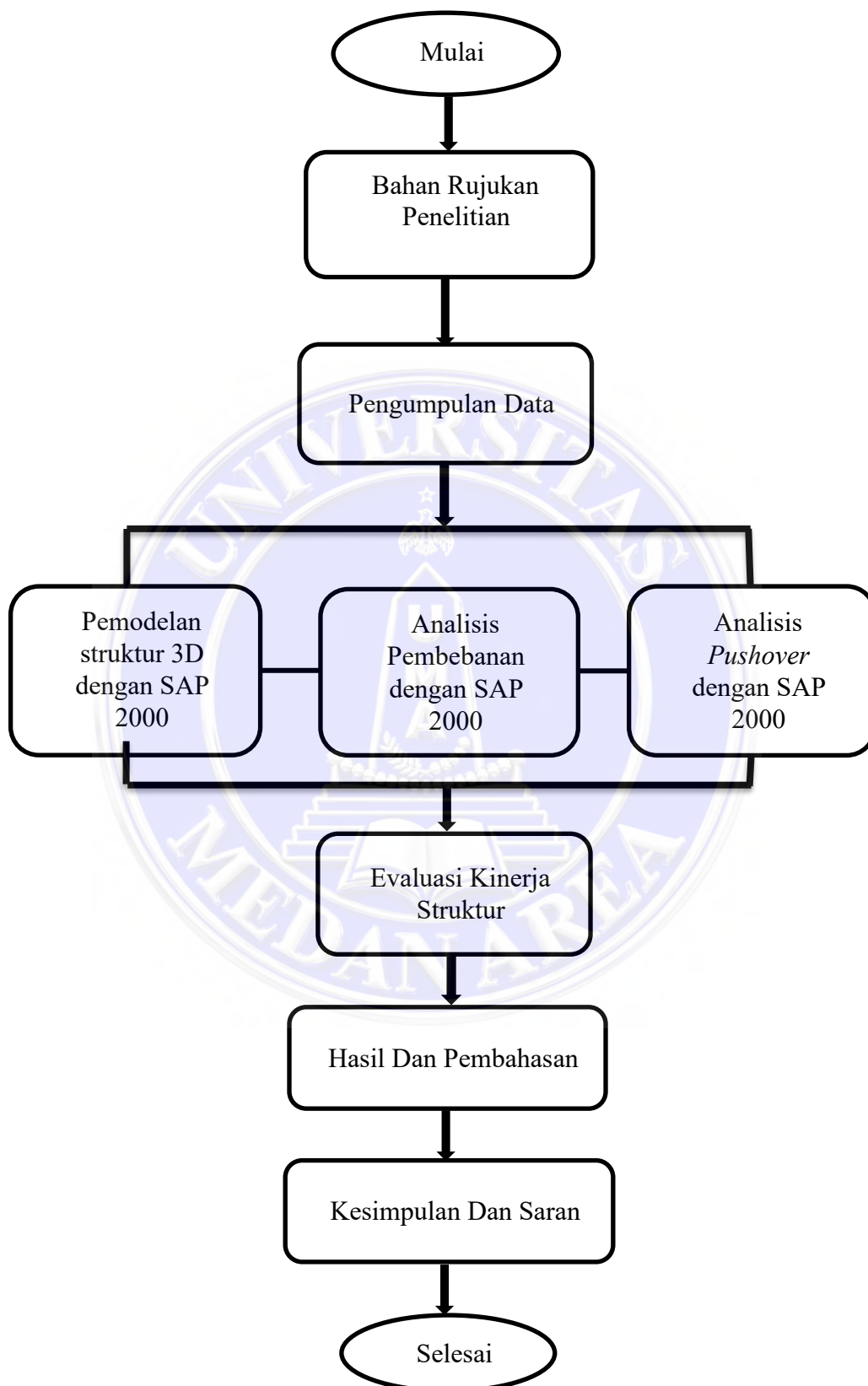
13. Running Program

- 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* s/d *dead* dan klik *run/do not case* (pada tahapan ini *analysis linear* dinamik RS tidak di run karena untuk mempercepat waktu proses *running*) diperlihatkan pada gambar 33.



Gambar 34. *Memilih Load Case To Run (SAP 2000 V14, 2026)*

3.7 Kerangka Berfikir



Gambar 35. Diagram alir penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis statik *nonlinier pushover* terhadap struktur Ruko R5 Citraland Sampali menggunakan perangkat lunak SAP2000, dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan masih memiliki kinerja seismik yang baik dalam menahan beban lateral akibat gempa bumi. Evaluasi dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, serta kriteria level kinerja struktur menurut ATC-40. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai perpindahan maksimum (*displacement*) pada arah X sebesar 130,68 mm dan pada arah Y sebesar 566,21 mm. Dengan tinggi total struktur sebesar 14,9 m atau 14.900 mm, diperoleh nilai *drift ratio* sebesar 0,87%. Nilai tersebut masih berada di bawah batas 1,0% berdasarkan kriteria ATC-40, sehingga struktur dikategorikan pada tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja seismik struktur gedung bertingkat melalui analisis *pushover* menggunakan perangkat lunak SAP2000, diperoleh beberapa rekomendasi yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan penelitian maupun penerapan di masa mendatang, yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis *pushover*, sejumlah elemen struktur telah mencapai tingkat kinerja LS–CP hingga C–D, yang menunjukkan kondisi mendekati atau memasuki kegagalan. Oleh karena itu, disarankan dilakukan perkuatan struktur, khususnya pada elemen balok dan kolom yang

mengalami konsentrasi sendi plastis, guna meningkatkan kapasitas dan kinerja seismik bangunan.

2. Hasil analisis *story drift* menunjukkan bahwa deformasi lateral terbesar terjadi pada lantai bawah. Kondisi ini mengindikasikan perlunya peningkatan kekakuan lateral, misalnya dengan penambahan dinding geser (*shear wall*), *bracing*, atau modifikasi dimensi elemen struktur pada lantai bawah untuk mengurangi konsentrasi drift dan meningkatkan stabilitas struktur.
3. Mengingat perilaku *nonlinier* struktur yang cukup signifikan pada tahap pembebanan lanjut, penggunaan sistem peredam energi seperti damper viskos atau base isolation dapat dipertimbangkan sebagai alternatif perkuatan untuk mengurangi respons struktur akibat gempa.
4. Penambahan dinding geser (*shear wall*) pada lokasi-lokasi strategis dapat meningkatkan kekakuan lateral bangunan dan mengurangi deformasi akibat beban gempa. Selain itu, penggunaan sistem bracing baja, seperti *X-bracing* atau *K-bracing*, juga dapat meningkatkan kapasitas geser dan stabilitas struktur secara keseluruhan.
5. Analisis *pushover* statik *nonlinier* memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan pengaruh gempa aktual yang bersifat dinamis. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan analisis *time history nonlinier* menggunakan rekaman gempa riil atau gempa buatan agar respons struktur dapat dievaluasi secara lebih realistis.
6. Untuk menjaga kinerja struktur tetap optimal sepanjang umur bangunan, diperlukan pelaksanaan inspeksi berkala serta simulasi gempa secara rutin.

Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan atau penurunan kapasitas struktur sejak dini, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum berkembang menjadi kegagalan struktural yang lebih serius.

7. Temuan dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana struktur dalam mendesain bangunan ruko bertingkat di wilayah dengan risiko gempa sedang hingga tinggi, khususnya dalam menerapkan konsep desain berbasis kinerja (*performance-based design*) sesuai dengan ketentuan SNI yang berlaku.



DAFTAR PUSTAKA

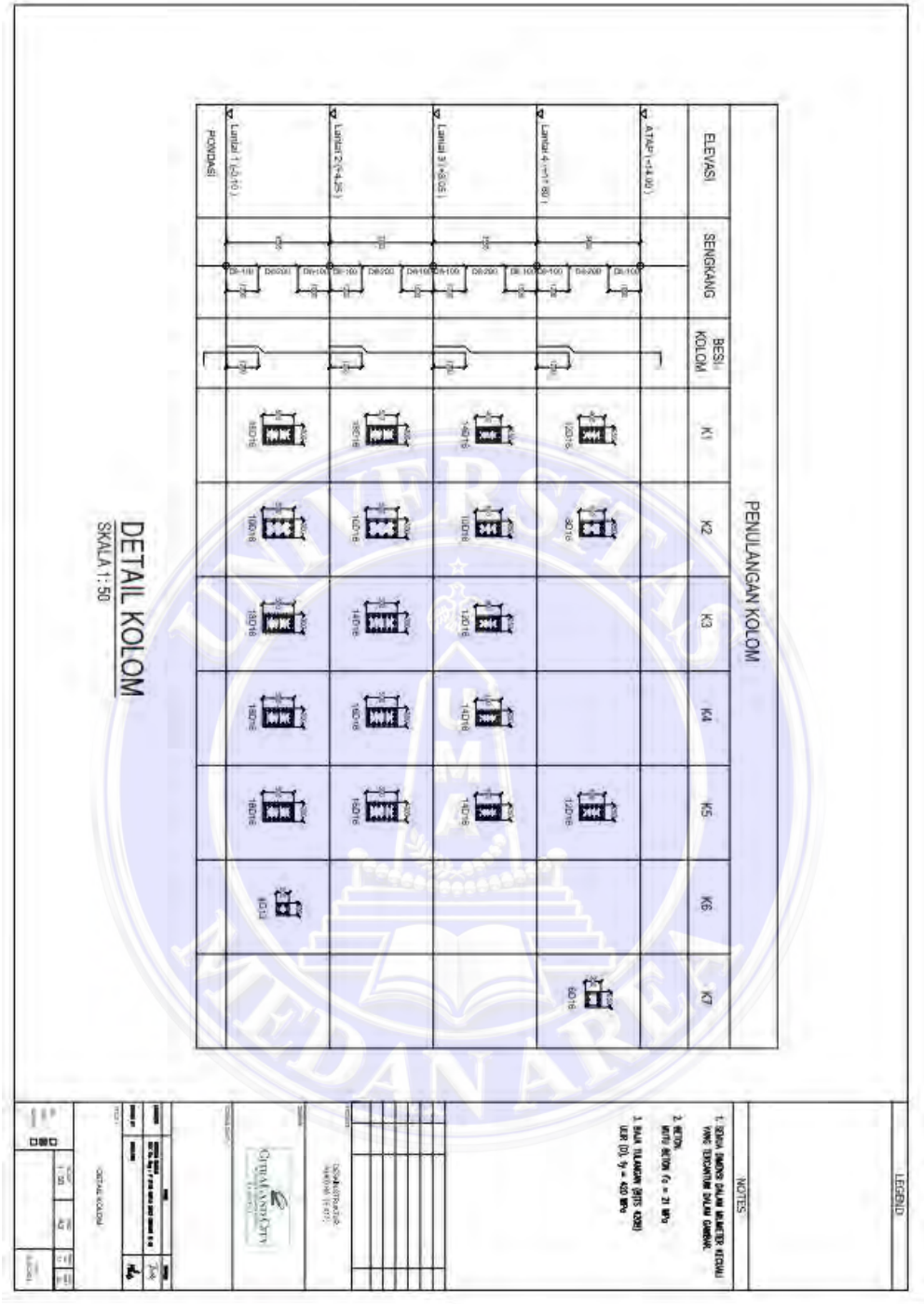
- Adhitama, Y. A., Supriyadi, B., & Suhendro, B. (2022). Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur Asce 41-17. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v6i1.65864>
- Asmara, K. B., Isneini, M., & D.W.S.B.U, C. N. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus: *The Venetian Tower*). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(1), 177–188. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v9i1.1721>
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, CA: *Applied Technology Council*. In *Seismic safety commissionsion* (Vol. 1, Issue November 1996, p. 334).
- Aulia, D. F., Sudarsono, I., & Mulyawati, F. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Pemodelan Struktur (3D) berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (*Pushover Analysis*). *Cived*, 9(3), 248–252. <https://doi.org/10.24036/cived.v9i3.436112>
- Dewi, D. I. R. (2020). EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS SESUAI PEDOMAN ATC-40 (Studi Kasus: SMP 3 Muhammadiyah Yogyakarta). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.33369/ijts.12.1.1-11>
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi kinerja struktur baja tahan gempa. *Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*, 1, 1–28.

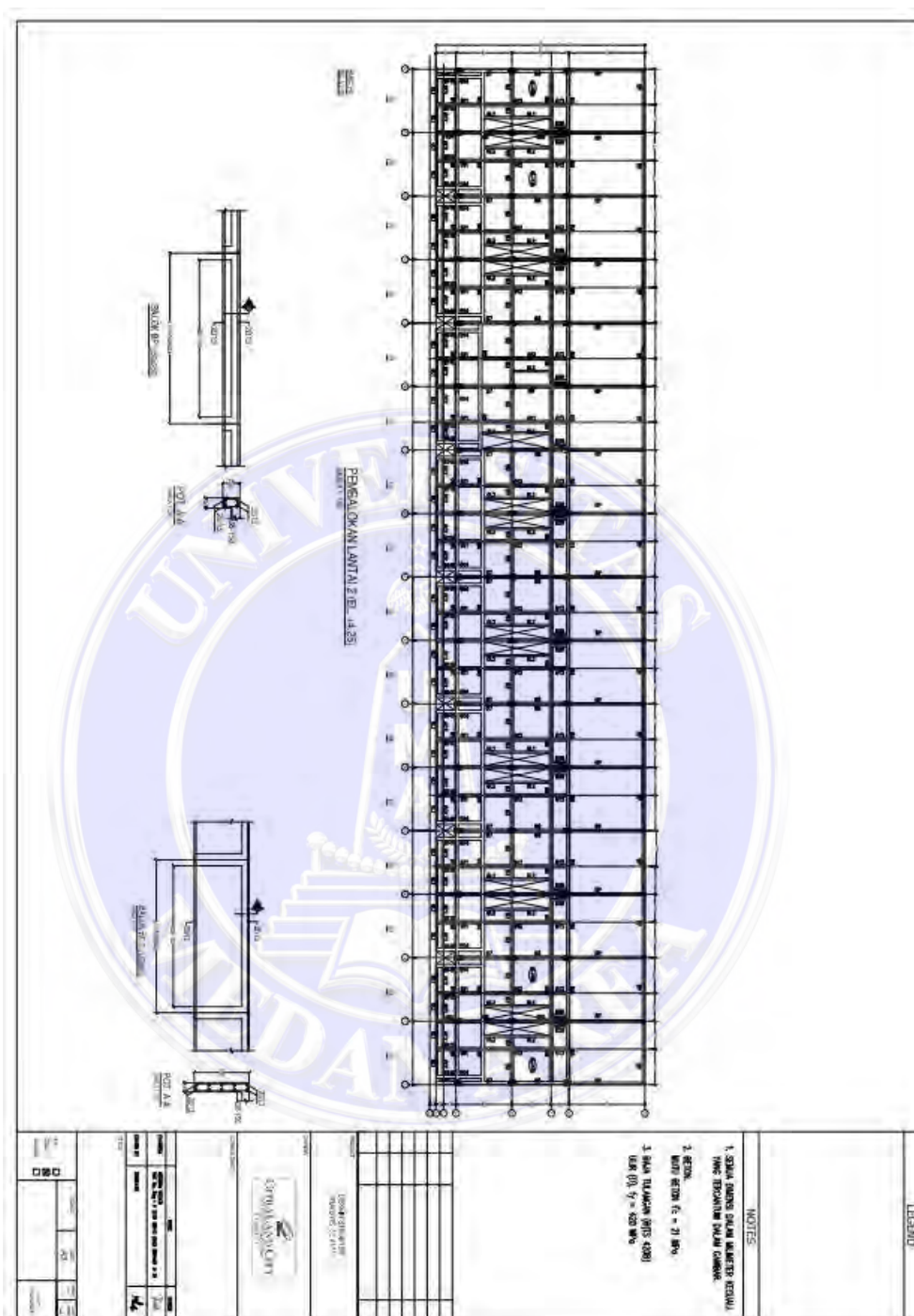
- Fathoni, R. M., & Desimaliana, E. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Tribun Barat Stadion RAA Adiwijaya Kabupaten Garut dengan Analisis *Pushover* Metode ATC-40. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 10(2), 133.
- FEMA P58-6. (2018). *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Buildings*. Fema P-58-6, 6(December), 92.
<https://www.fema.gov/medialibrary/assets/documents/90380>
- Irfan., M., & Setiawan, A. A. (2023). Evaluasi Kinerja Gedung a Universitas Pembangunan Jaya Dengan *Pushover* Analysis Berdasarkan Fema 356. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 7(1), 28. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v7i1.79200>
- Kadariusman, R. A., SMD, A., & ... (2017). Kajian Analisis *Pushover* untuk *Performance Based Design* pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono. *Jurusan Teknik Sipil*.
<http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/597>
- Kurniawati, R., Bayzoni, B., Husni, H. R., & Isneini, M. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan *Nonlinear Static Pushover Analysis* dengan *Capacity Spectrum Method* (CSM) (Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(4), 605–622. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v9i4.2004>
- M. Nasution, I., Erizal, & Fauzan, M. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan *Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 9(2), 199–210. <https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.199-210>
- Muchlian, M., & Deva Ramadhan, F. (2025). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung SMP Negeri 2 Banda Aceh Menggunakan Metode *Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 12(1), 115–121.

<https://doi.org/10.21063/JTS.2025.V1201.0115-121>

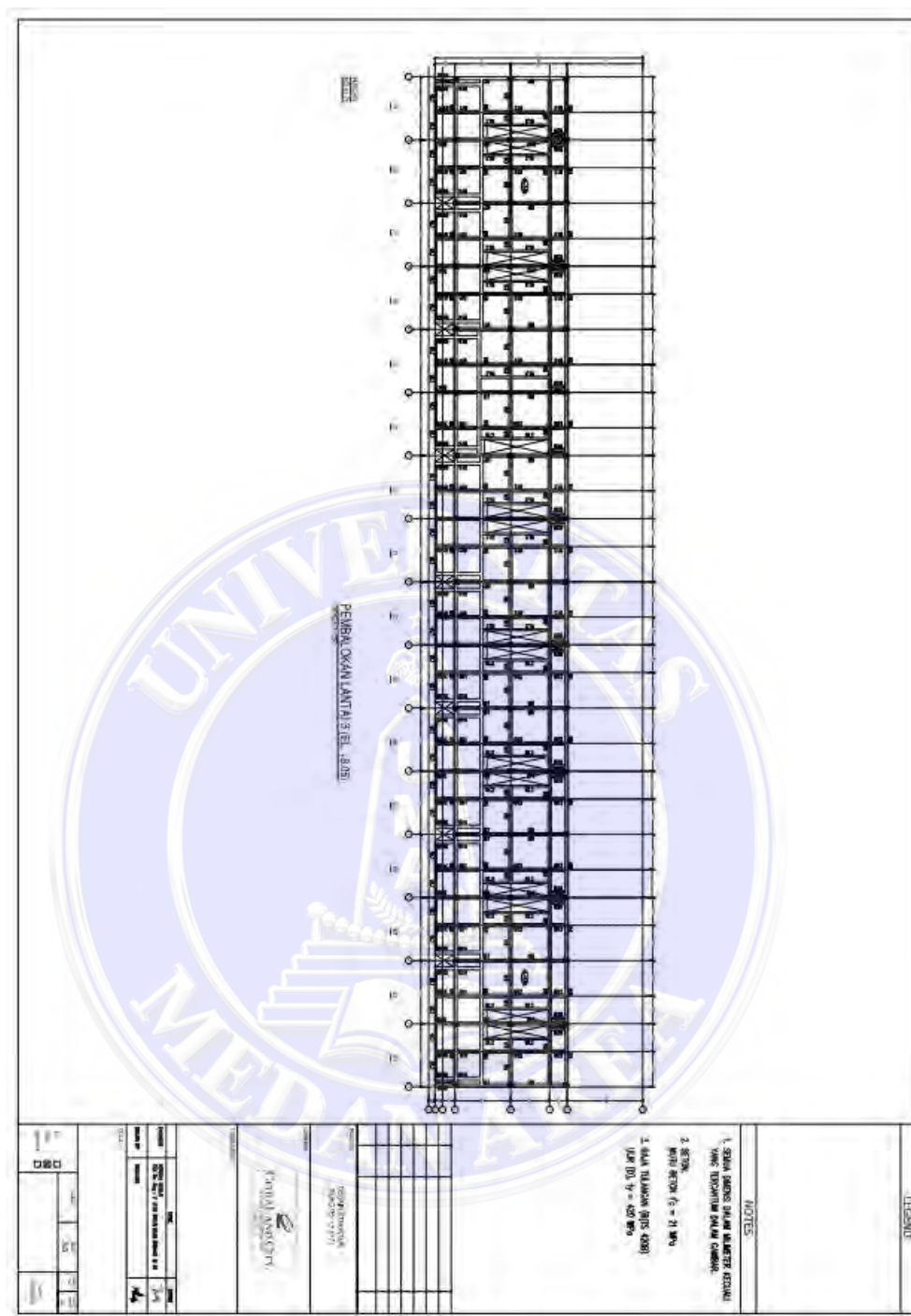
- Naryanto, H. S. (2019). Analisis Bahaya, Kerentanan Dan Risiko Bencana Tsunami Di Provinsi Papua Barat. *Jurnal Alami : Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.29122/alami.v3i1.3399>
- National Earthquake Study Center (PUSGEN). (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (*Map of Indonesia Earthquake Sources and Hazards in 2017*). In *The Ministry of Public Works and Housing*.
- Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis. *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)*, 5, 8–9.
- Parabi, A. D., Parabi, A., & Octaviyana, R. A. (2024). *Evaluasi Sistem Struktur Tahan Gempa Pada Bangunan Strategis Layanan Akademik*. 3, 63–70.
- Syahira, M. S., & Jamal, A. U. (2023). 32. Naskah Revisi_Maritza Syifa Syahira _ Atika Ulfah Jamal_Makalah_5th-CEReForm. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), 40–51.
- Trumansyahjaya, K. (2005). Penilaian Terhadap Keandalan Bangunan Gedung Pada Bangunan Gedung Di Universitas Negeri Gorontalo. *Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 36, 137–149.
- Utomo, D. P., & Purba, B. (2019). Penerapan datamining pada data gempa bumi terhadap potensi tsunami di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, 1(0), 846

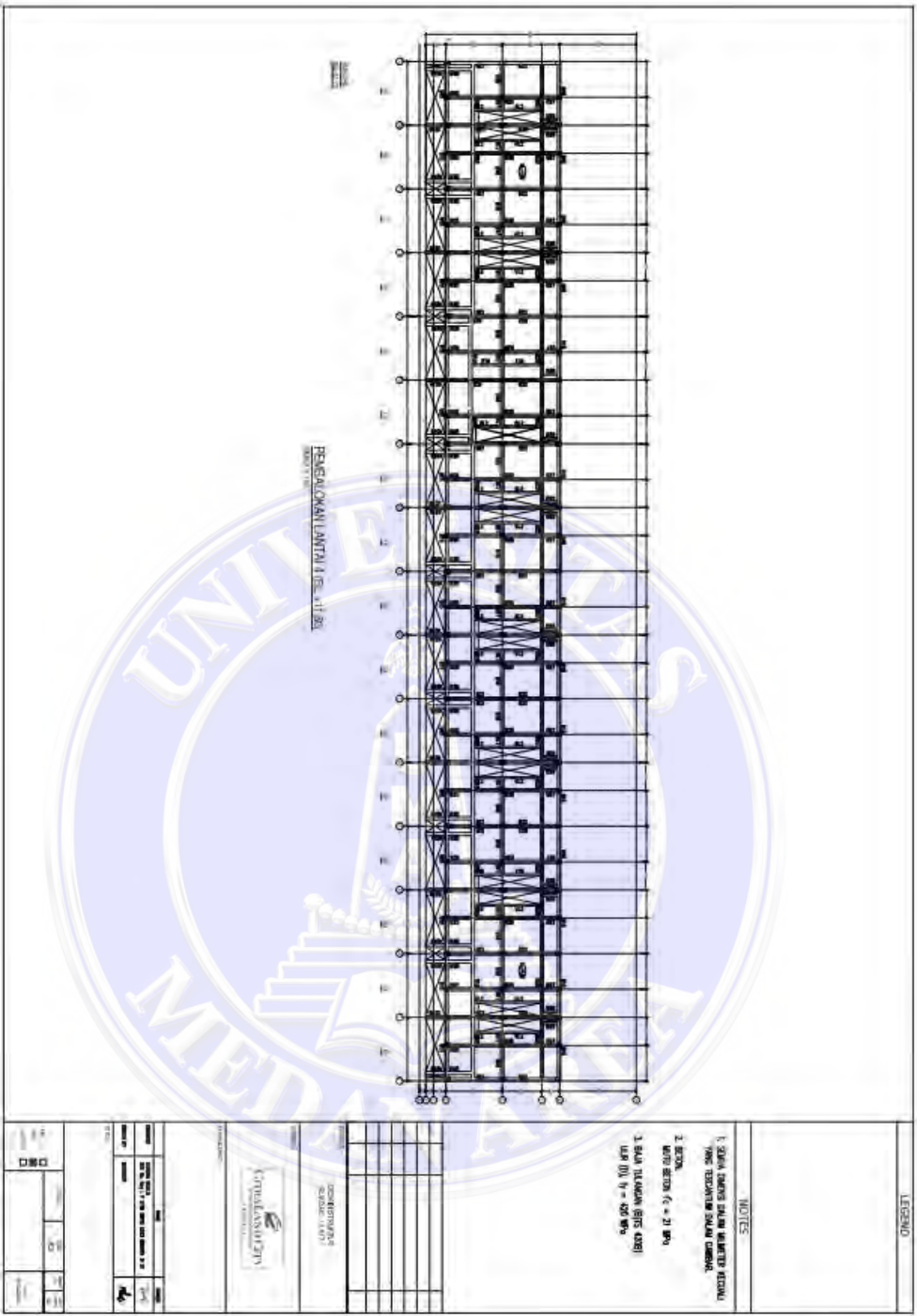
Lampiran

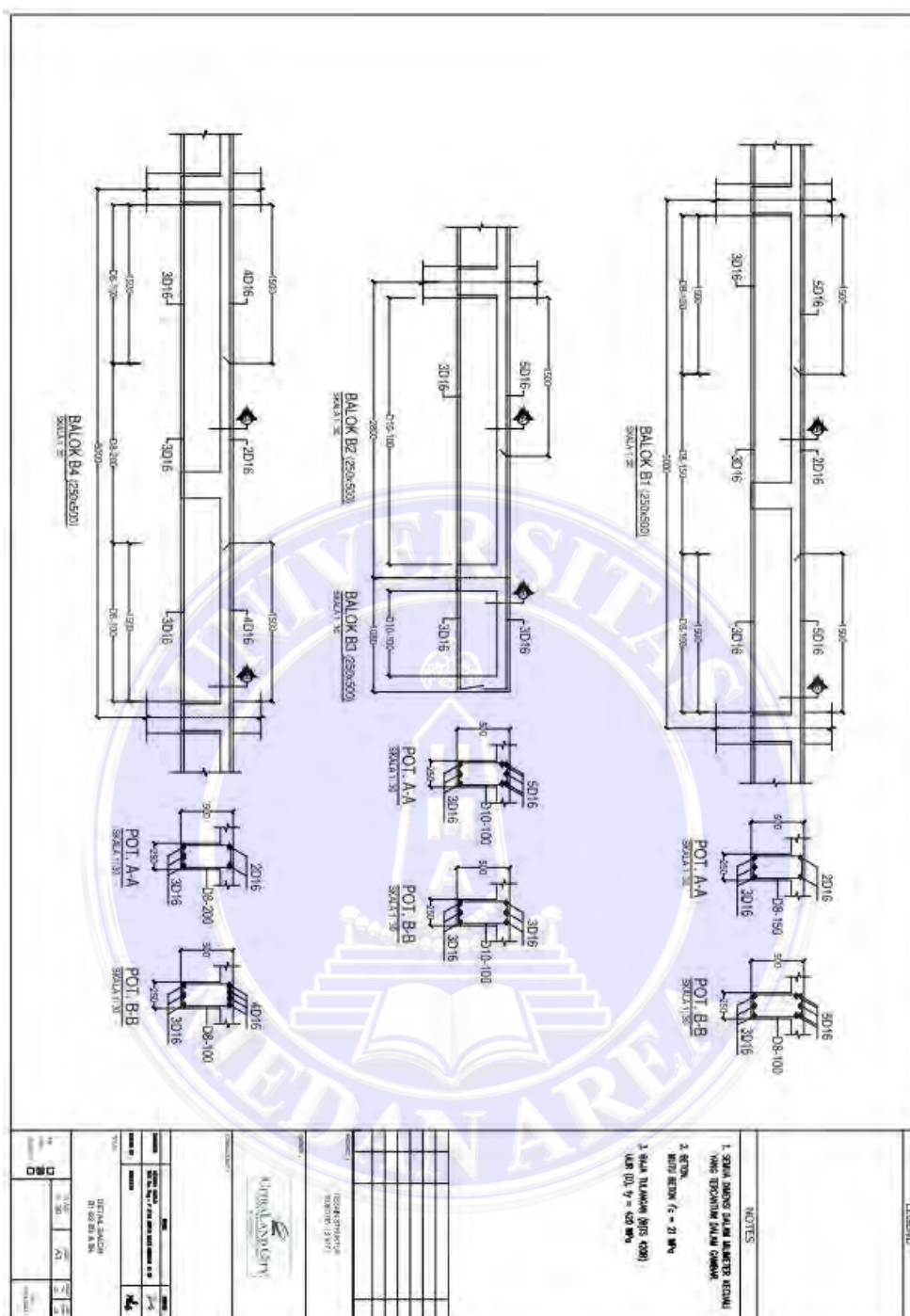


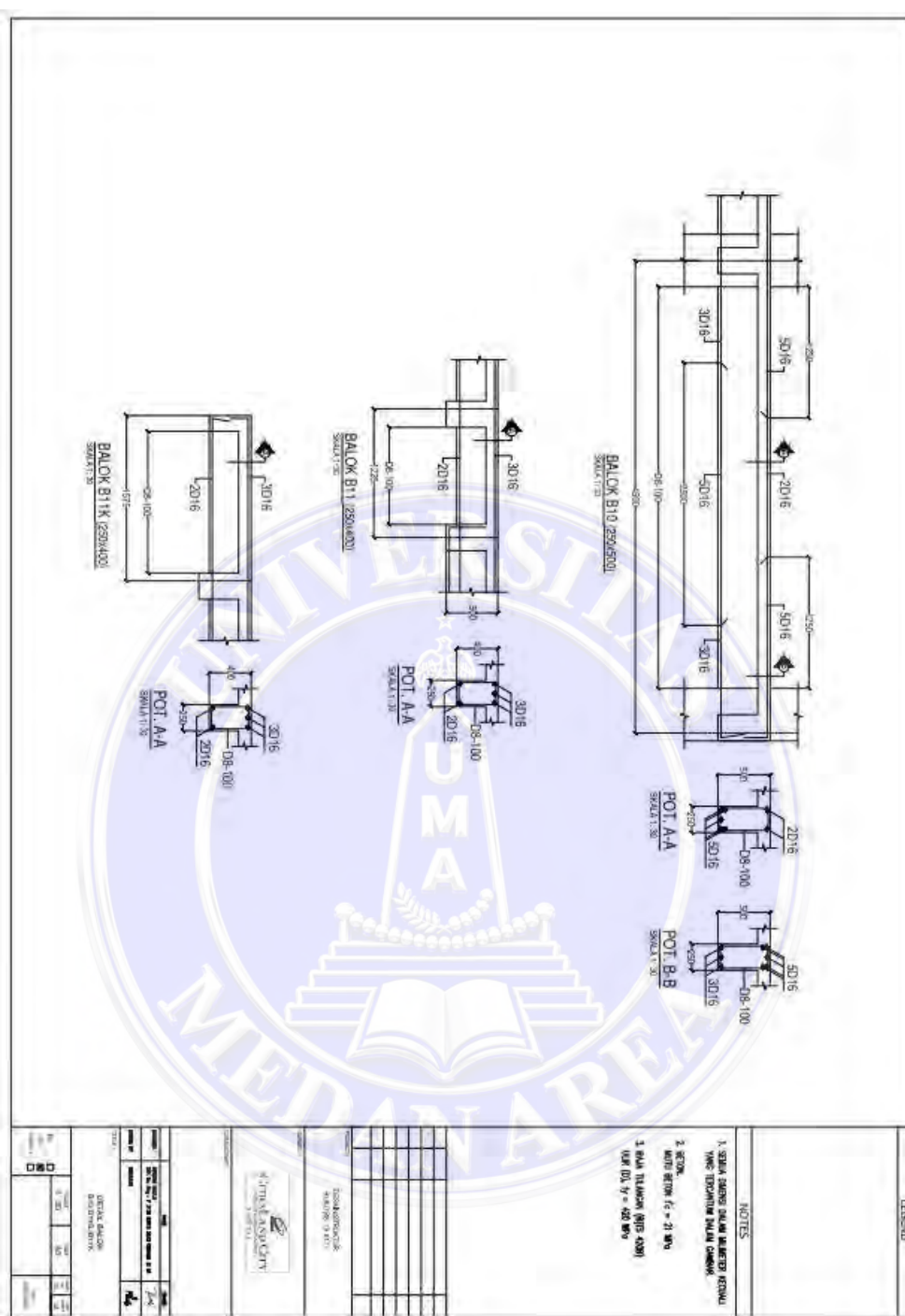


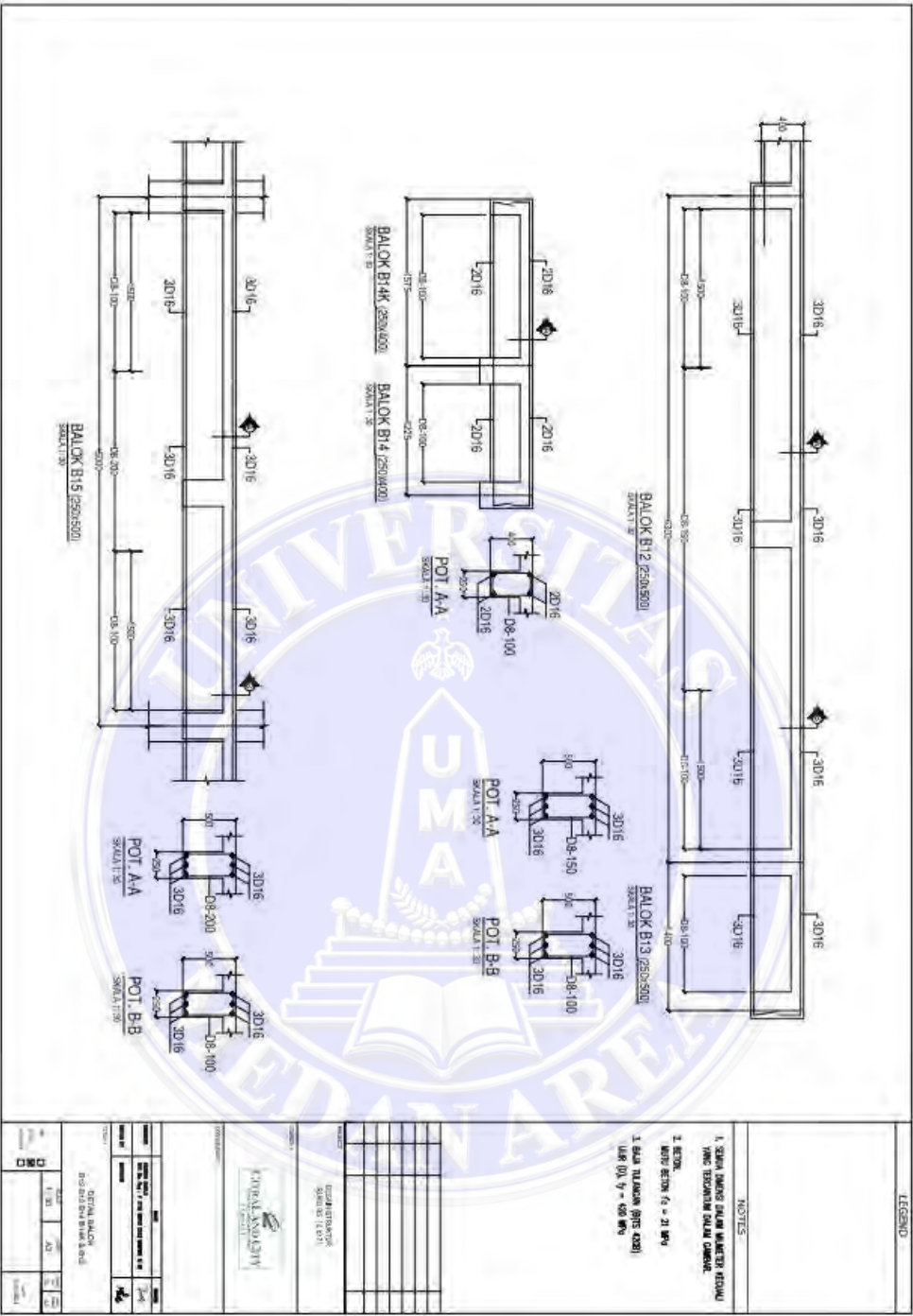
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

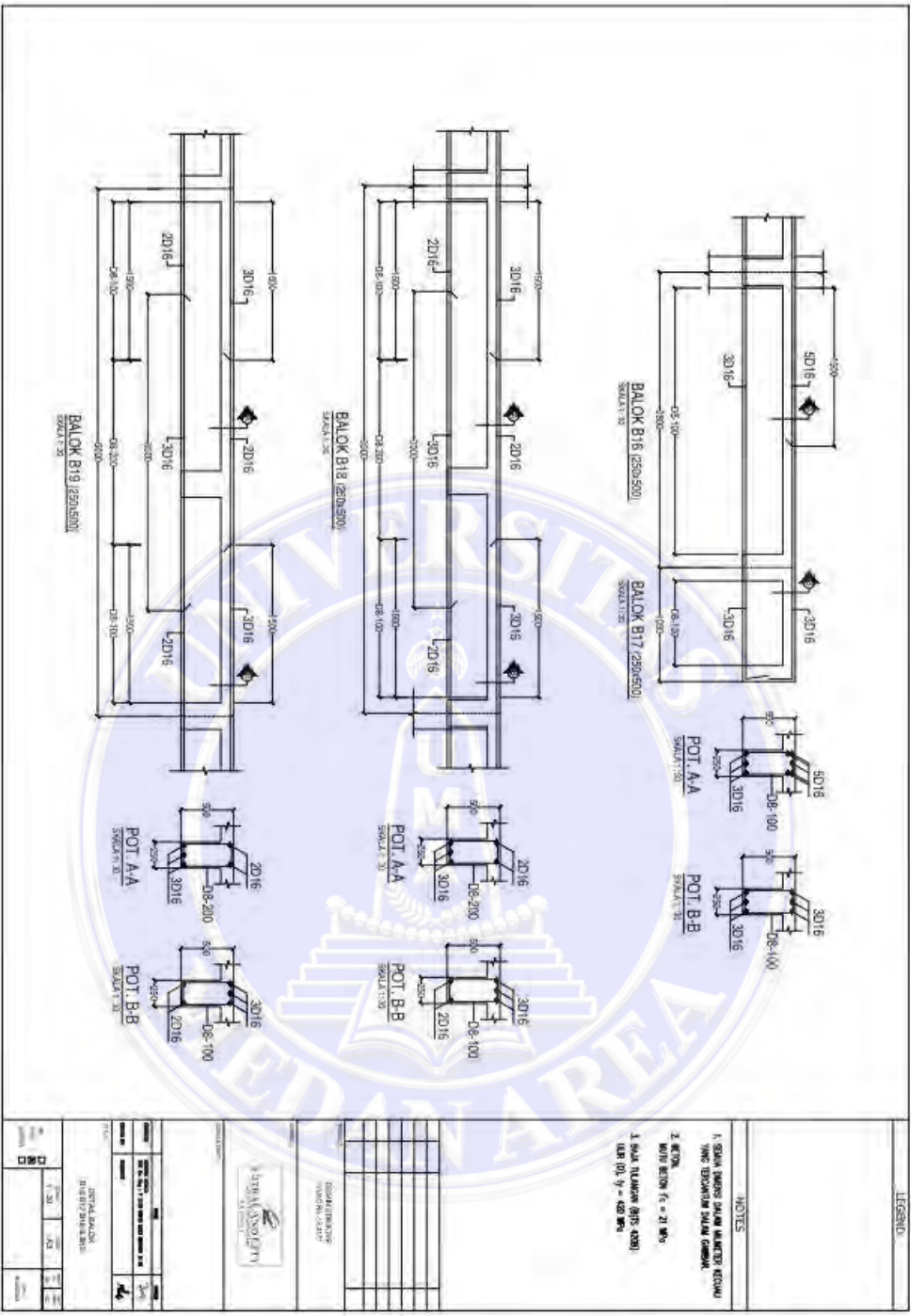


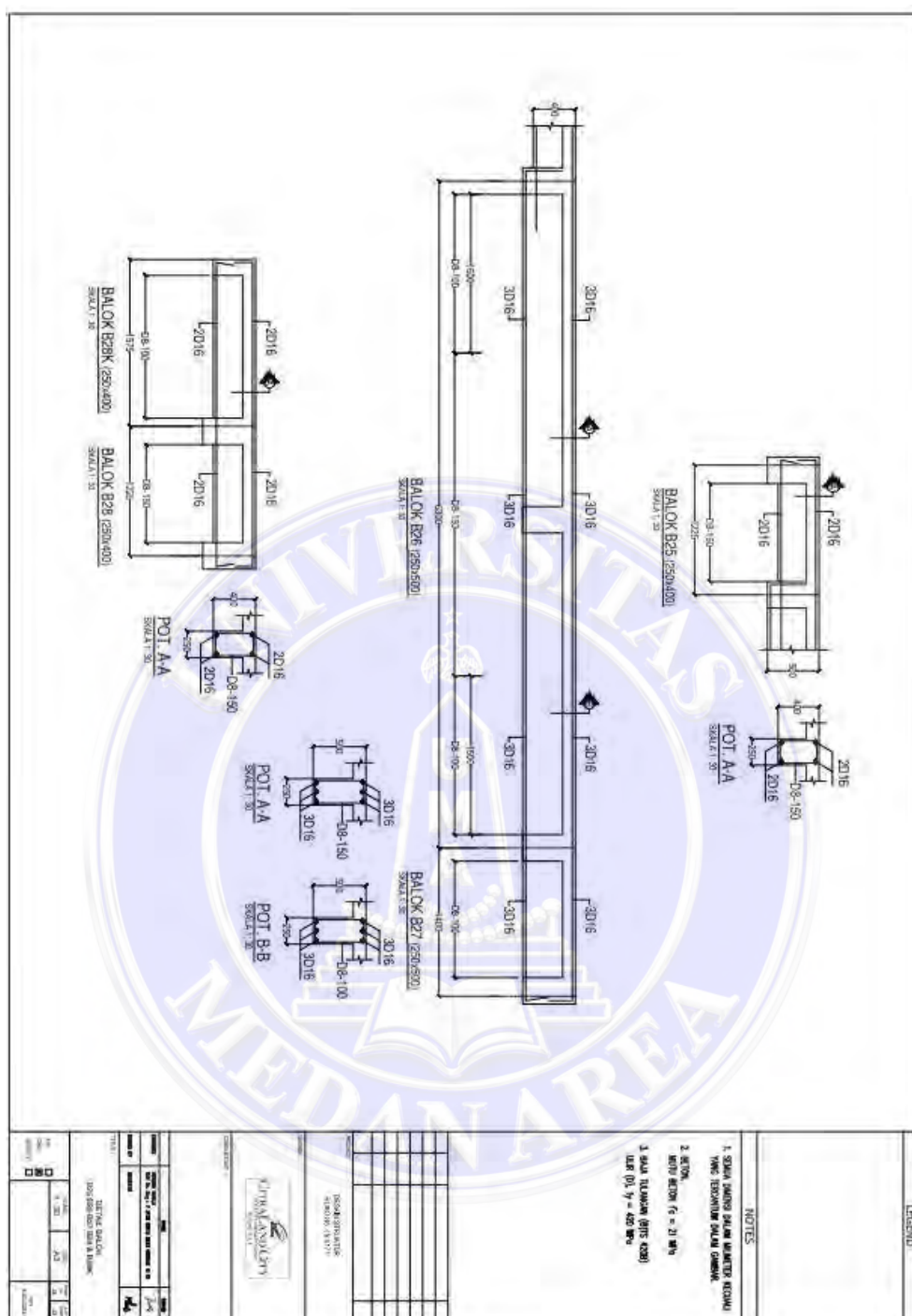


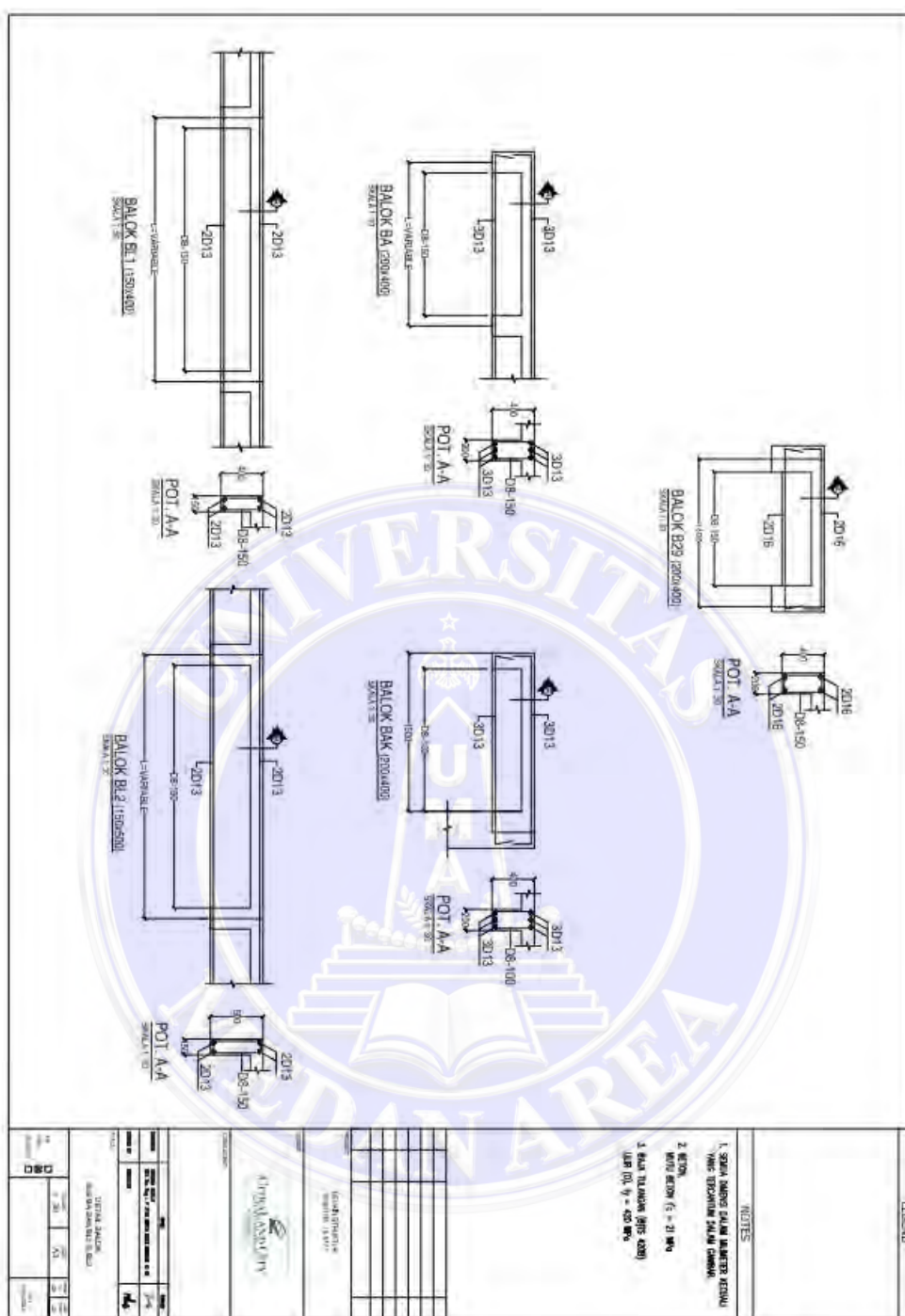












1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

